ITU出版物
建议书

国际电信联盟
无线电通信部门

ITU-R P.372-17 建议书

(08/2024)

P 系列：无线电波传播

无线电噪声

前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

知识产权政策（IPR）

国际电联无线电通信部门（ITU-R）的 IPR 政策述于 ITU-R 第 1 号决议所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从 http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh 获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策实施指南》和 ITU-R 专利信息数据库。

ITU-R建议书系列

（可同时在以下网址获得：**http://www.itu.int/publ/R-REC/zh**）

系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和标准频率发射
V	词汇和相关课题

说明：该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版物
2024年，日内瓦

ITU-R P.372-17建议书

无线电噪声*

（ITU-R第214/3号课题）

（1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009-2013-2015-2016-2019-2021-2022-2024年）

范围

ITU-R P.372建议书提供了有关0.1 Hz至100 GHz范围内无线电噪声[1]的背景电平，并考虑到雷电、大气气体、云、雨、地球表面、银河系和人为来源造成的噪声。其中给出的数字或温度为估算系统性能提供了依据。

关键字

无线电噪声、噪声系数、噪声温度、天空亮度温度

缩写/词汇表

Amsl　平均海拔高度

IDWM　国际电联数字化世界地图

LoS　视距

国际电联无线电通信全会，

考虑到

a) 无线电噪声为无线电系统的性能设定了限值；

b) 有效的天线噪声数值或天线噪声温度，以及接收噪声包络振幅概率分布，均为适用于系统性能分析和设计的参数（几乎在任何时候都是必要条件，但有时不是充分条件）；

c) 应将有关外部自然来源无线电发射的知识用于：

– 评估大气层对无线电波的影响；

– 分配地球环境遥感所用的频率；

d) 人为来源的无线电噪声对某些无线电应用的限制设置有重要意义；

e) 无线电噪声测量方法见ITU-R SM.1753建议书；

f) ITU-R SM.2093建议书给定了室内噪声环境的测量方法，

建议

在无线电系统设计和分析中，应酌情使用关于外部无线电噪声背景电平的下列信息：

---

* 本建议书中描述的计算与闪电、人为噪声和银河噪声（频率低于约100 MHz）引起的大气噪声相关的补充计算机程序可从以下网址获得：https://github.com/ITU-R-Study-Group-3/ITU-R-HF/releases/tag/v14.3。

1 “无线电噪声”、“射频噪声”和“RF噪声”三个术语为同义词。

目录

页码

第一部分 3

1.1 无线电噪声源 3

1.2 噪声强度规范及其相互关系的术语 3

第二部分 6

第三部分 9

3.1 地球大气层对地球站产生的无线电噪声 10

3.2 地球大气和地球表面对空间站产生的无线电噪声 12

第四部分 17

4.1 地外源造成的亮温 17

第五部分 24

5.1 雷电引起的大气噪声 24

第六部分 99

6.1 室外人为噪声 99

6.2 室内人为噪声 101

第七部分 102

7.1 多来源的组合噪声 102

第一部分

概论

1.1 无线电噪声源

无线电噪声定义如下：

无线电噪声；

一种在射频范围内具有明显不传送信息的分量的时变电磁现象，这些分量可叠加在有用信号上，或和有用信号相组合。

注1 – 在某些情况下，射频噪声可能载有噪声源的某些特性，例如，噪声源的性质和其位置。

注2 – 一组信号集合，当它们不能分开来辨识时，可表现为射频噪声。

本建议书提供了从无线电接收系统外部发射并通过参考天线接收的辐射无线电噪声的数据，这些辐射噪声源于以下原因：

– 自然噪声
  - 大气气体和水象的发射；
  - 地球表面；例如天线波束内的陆地、海洋和其他障碍物的发射；
  - 天体无线电来源的辐射；
  - 来自闪电和其他静电放电（大气噪声）的辐射；

– 人为噪声
  - 尤其是室外天线，来自电机、电气和电子设备和网络、电力传输线、电力线通信、无线电力传输、工业、科学和医疗（ISM）设备或内燃机点火的聚集意外辐射，以及作为来自不完全屏蔽的外壳、传输线和电缆的电磁辐射；
  - 室内或靠近障碍物的天线，在可能的范围内的集合意外辐射，但也包括来自特定典型环境中单个或少量源的典型辐射电平。

注3 – 此处给出的无线电噪声电平估计值不包括与也存在的无线电业务相关的信号。来自单个发射或接收系统的杂散发射可能是接收到的累积噪声电平的一部分。

注4 – 本建议书仅提供有关通过天线、馈线电缆或波导到达接收机的无线电噪声的信息。它不包括可能通过其他导电电缆或结构到达接收机的噪声，也不包括由于馈线电缆和连接线的屏蔽或平衡不充分而导致可能接收到的噪声。

注5 – 就人为噪声而言，提供的数据在于表示环境类别，显示了在该环境中的典型距离内，使电器和电子活性正常发挥的典型电平。

1.2 噪声强度规范及其相互关系的术语

接收系统的噪声由系统接收端的多个噪声源组成。必须同时考虑外部噪声和接收机内部产生的内部噪声。无线电接收系统总体工作噪声的唯一适当参考点是等效无损接收天线的输入（此无损天线的端子在物理上不存在）。

该噪声可以表示为相对于热噪声的噪声系数f，或者表示为有效噪声温度，或表示为电场强度。

1.2.1 噪声系数

就无杂散响应的接收机而言，系统的噪声系数表示为：

$$f = f_a + (f_c - 1) + l_c (f_t - 1) + l_c l_t (f_r - 1) \tag{1}$$

其中：

f_a： 外部噪声系数定义为：

$$f_a = \frac{p_n}{k T_0 b} \tag{2}$$

注1 – F_a为外部噪声系数，其定义为：

$$F_a = 10 \log f_a \quad \text{dB}$$

p_n： 来自等效无损耗天线的可用噪声功率

k： 波耳兹曼常数 = 1.38×10^{-23} J/K

T_0： 参考温度（K）测得的结果为290 K

b： 接收系统噪声功率带宽（Hz）

l_c： 天线电路损耗（可用输入功率/可用输出功率）

l_t： 传输线路损耗（可用输入功率/可用输出功率）

f_r： 接收机内部噪声系数。

注2 – F_r为接收机噪声数值，其定义为：

$$F_r = 10 \log f_r \quad \text{dB}$$

f_c是与天线电路损耗相关的噪声系数，

$$f_c = 1 + (l_c - 1) \left(\frac{T_c}{T_0} \right) \tag{3}$$

f_t是与传输线路损耗相关的噪声系数，

$$f_t = 1 + (l_t - 1) \left(\frac{T_t}{T_0} \right) \tag{4}$$

其中：

T_c： 天线和附近地面的实际温度（K）

而且

T_t： 传输线路的实际温度（K）。

如果$T_c = T_t = T_0$，等式(1)变为

$$f = f_a - 1 + f_c f_t f_r \tag{5}$$

等式(2)可写为：

$$P_n = F_a + B - 204 \quad \text{dBW} \tag{6}$$

其中：

$P_n = 10 \log p_n$：可用功率（W）

$B = 10 \log b$，和$-204 = 10 \log k T_0$。

1.2.2 r.m.s噪声场强

可以根据F_a的估计值，利用适合所用天线类型的(7)和(8)一类等式确定相应E_n数值。

就理想导体地面以上的短（$h \ll \lambda$）垂直单极天线而言，r.m.s.场强的垂直部分表示为：

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\mathrm{MHz}} + B - 95.5 \qquad \mathrm{dB(\mu V/m)} \tag{7}$$

其中：

E_n： b带宽的场强，以及

f_{MHz}： 中心频率（MHz）。

同样，对于自由空间的参考各向同性天线：

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\mathrm{MHz}} + B - 96.8 \qquad \mathrm{dB(\mu V/m)} \tag{8}$$

1.2.3 噪声温度

外部噪声系数也通常以温度T_a表示，其中根据f_a的定义：

$$f_a = \frac{T_a}{T_0} \tag{9}$$

T_a为外部噪声造成的有效天线温度。

1.2.4 噪声可变性

上述噪声功率虽然可能是确定信噪比所必需的，却很少能为确定系统性能提供充足条件（唯一的例外是高斯白背景噪声）。需要对接收的随机噪声波形进行相应的概率描述。为研究本建议书关注的噪声类型，接收包络的相位通常是均匀分布的，而且振幅概率分布（APD）（超越概率）也得到确定。

至于更高频率（如 > 大约 1 GHz）上的冲激噪声过程，各项 F_a 值均很低，只有较高量级的脉冲能够超越接收机噪声门限值。脉冲噪声可以通过给定时间段内的峰值、这些更高电平的超出概率以及指定电平的脉冲计数来描述。

第二部分

作为频率函数的噪声电平

以下的三个数字和相关论述，明确提出了0.1 Hz至100 GHz频率范围内的F_a预期值，以及其他相关的噪声电平。这三个数字显示了第1款提出的噪声类型的相对量级。本建议书后面的章节提供了有关不同噪声类型的更详细信息。

图1涉及0.1 Hz至10 kHz频率范围。实曲线是测得的F_a预计每小时中间值（考虑到整个地球表面、一年四季和一天当中的所有时间段），而虚曲线提供了最大预计值。值得注意的是，本频率范围内很少出现季节、每日或地理变化。100-10 000 Hz频率范围内的较大差异，是由于地-电离层的波导截止造成的。

图1

最小和最大F_a与频率（10^{-1}至10^4 Hz）

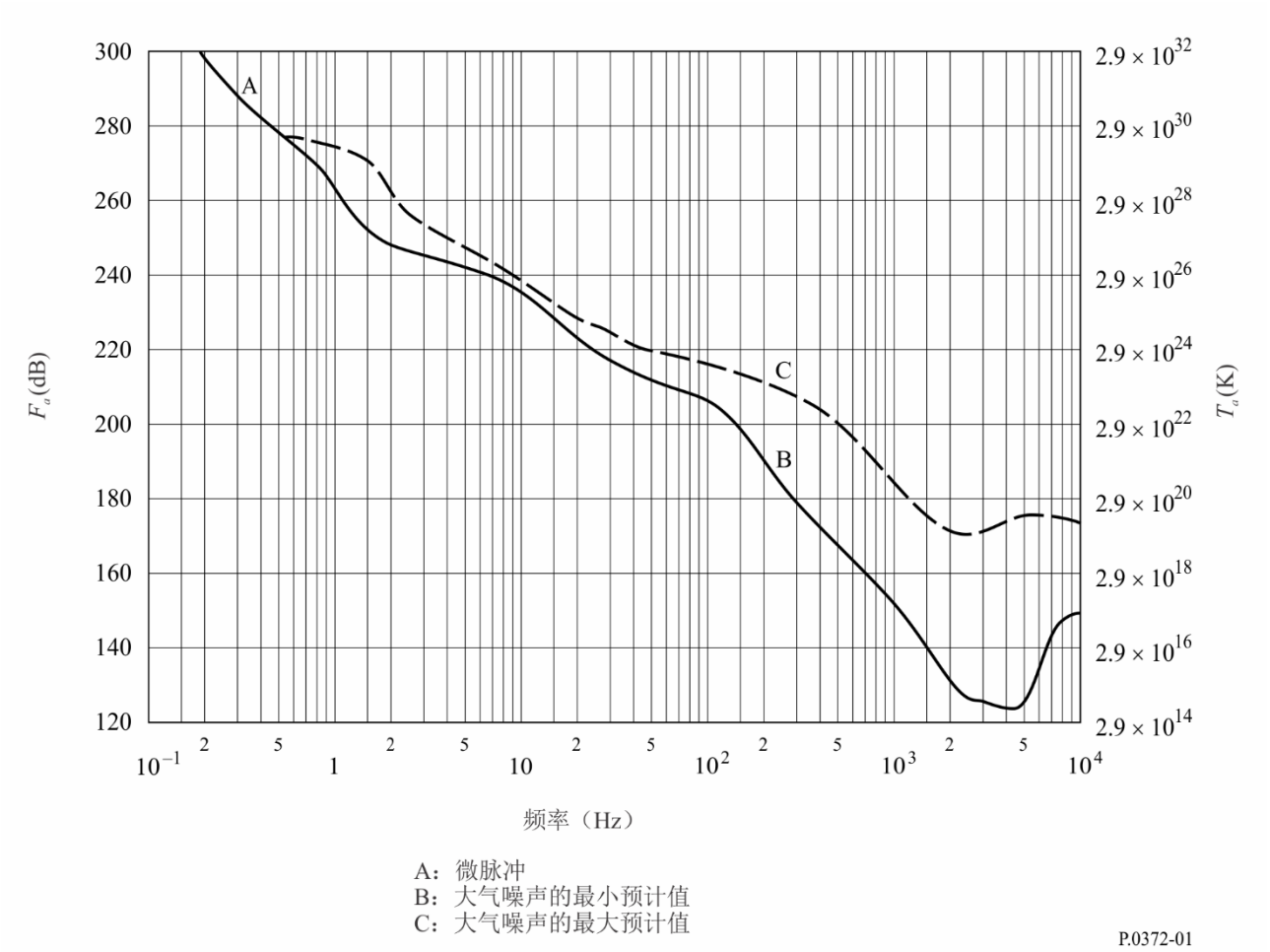


图2涵盖了各类噪声类别的的10^4至10^8 Hz频率范围，即10 kHz至100 MHz。最小期望噪声由实曲线表示。对于雷电引起的大气噪声，预期每小时中值的最小值是超过小时99.5%的那些值，最大值是超过小时数的0.5%。一天中的所有时间、季节和整个地球表面都被考虑在内。

图2

F_a与频率（10^4至10^8 Hz）

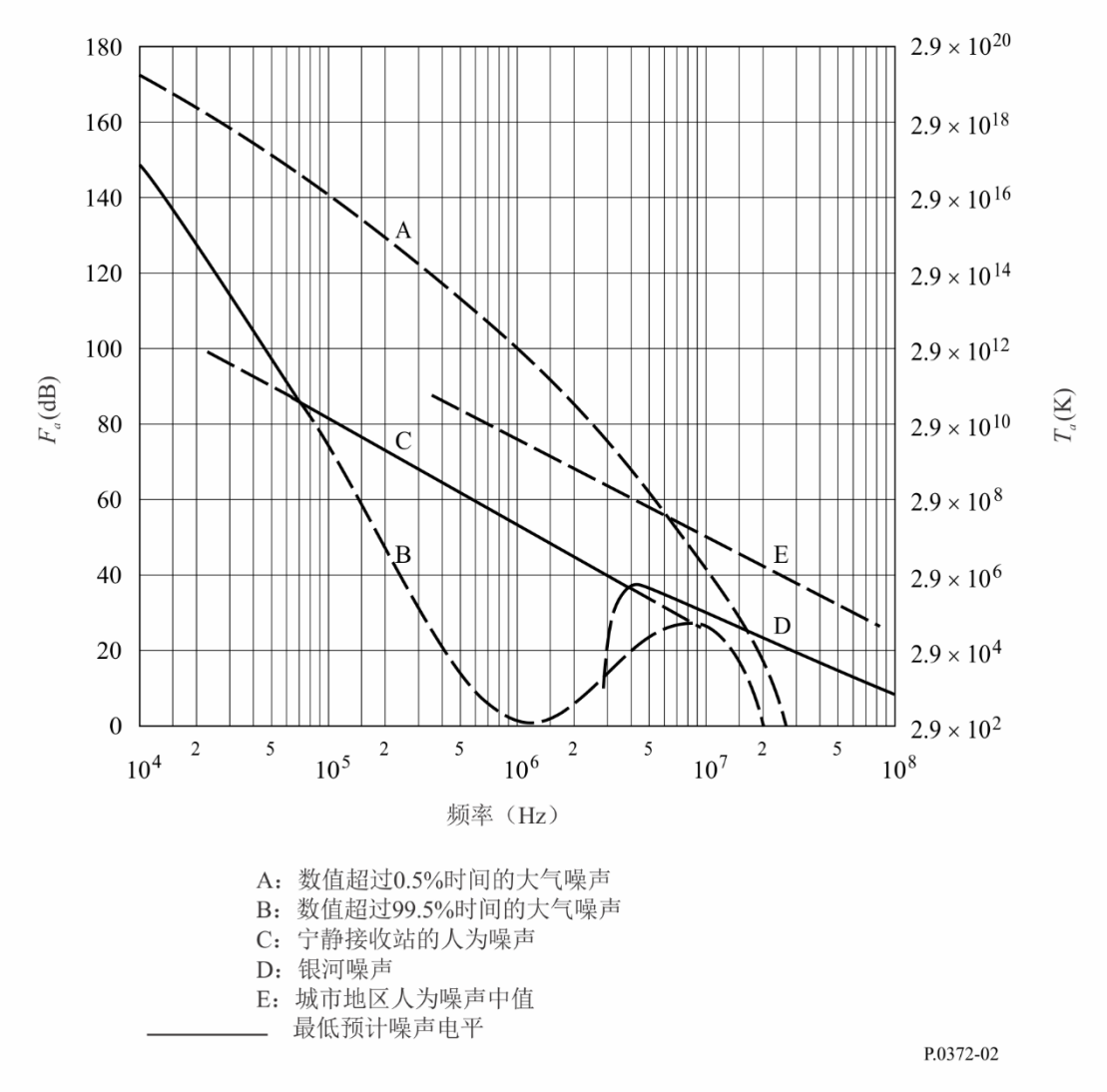


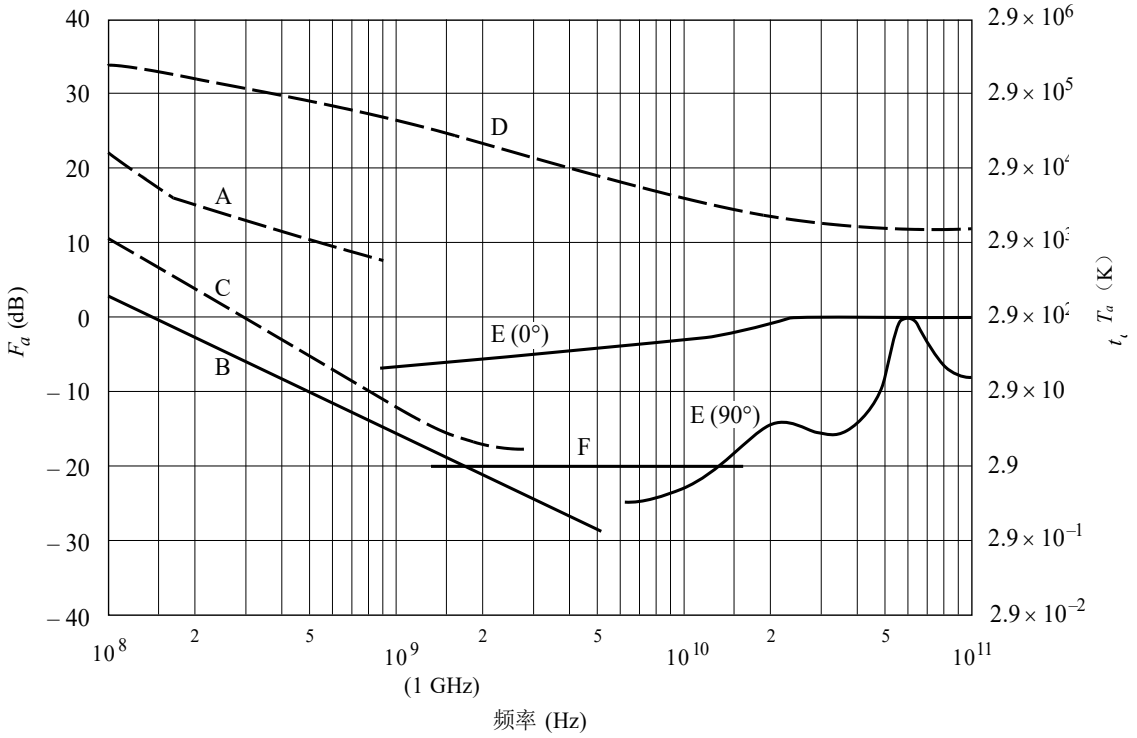
图3涉及10^8至10^{11} Hz，即100 MHz至100 GHz频段。同样，随机噪声表示为实曲线，而某些其他相关噪声则以虚曲线表示。

三个图中显示的多数结果是用于全向天线的（但图表作出说明的除外）。然而就定向天线进行的研究显示，（例如）在HF，在雷电给极窄波束天线带来的大气噪声的情况下，由于天线指向、频率和地理位置的不同，会有高达10 dB的差异（高于或低于显示的F_a平均值5 dB）。

标为银河噪声的实线（图2和3）给出了银河噪声（整个天空）的平均值。测量显示，在对电离层屏蔽忽略不计的情况下，存在±2 dB的差异。最低银河噪声（指向银极的窄波束天线）较图3显示的银河噪声实曲线低3 dB。图3以虚线表示窄波束天线的最高银河噪声。

图3

***F_a*与频率（10^8至10^{11} Hz）**



A: 估计的城市地区人为噪声中值
B: 银河噪声
C: 银河噪声（指向具有极窄波束宽度的银河中心）
D: 宁静太阳（½°波宽指向太阳）
E: 氧气和水气引起的天空噪声（极窄波束天线）上曲线，0° 仰角；下曲线，90°仰角
F: 黑体（宇宙背景），2.7 K
——— 最低预计噪声电平

P.0372-03

第三部分

来自大气气体和地球表面的噪声

来自太阳、大气气体、地球表面等个体来源的噪声，通常以亮度温度T_b表示。天线温度T_a是天线图和天地亮温的卷积。对于其图包括单一来源的天线而言，天线温度和亮度温度是相同的（图3中的C、D和E曲线便是例证）。

图4和5显示了地基接收机的大气亮温，但对于图4中1至340 GHz和图5的1至60 GHz频率而言，该温度不包括宇宙噪声影响达2.7 K或其他的地外来源。在计算这些曲线时，对七个不同仰角和一个平均大气（7.5 g的表面水汽密度、288 K的表面温度和标高2 km的水气）使用了辐射传输程序。“1976年美国标准大气模式”被用于干燥大气。在对流层顶上增加了典型的水气成因。

图4

水气浓度达7.5 g/m³的亮温（清新空气）
（表面温度和压力等于15°C和1 023 mb）；θ为仰角

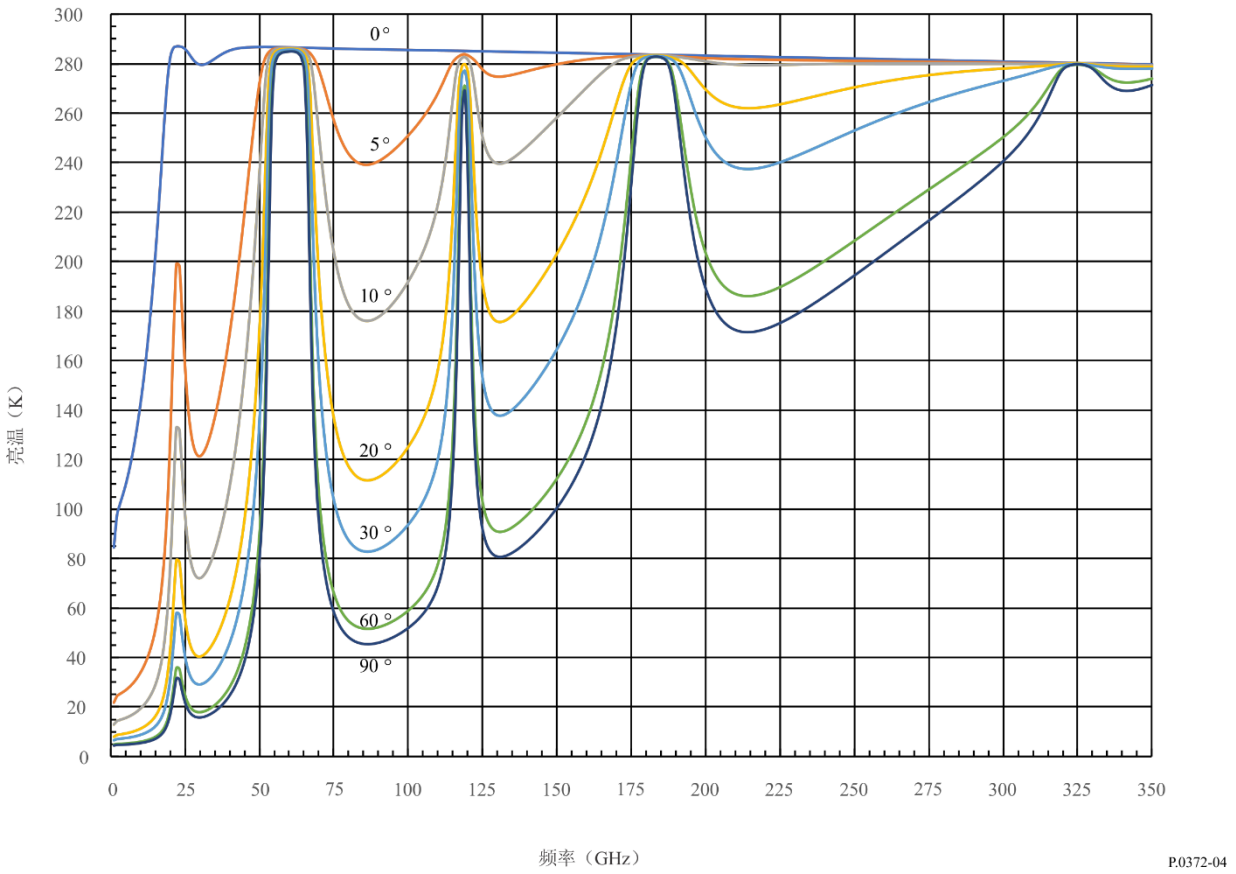
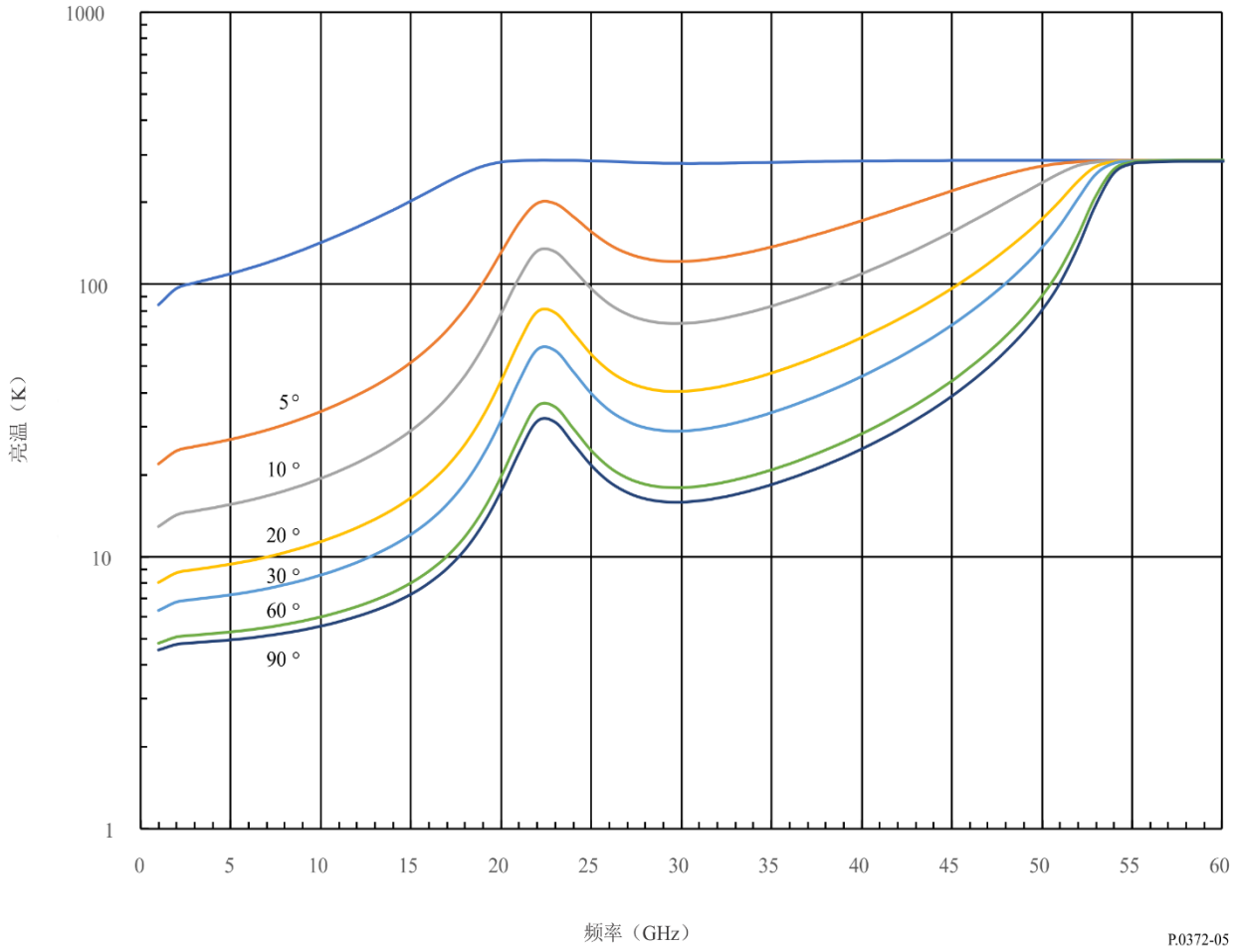


图5

水气浓度达7.5 g/m³的清新空气亮温
（图4的横坐标尺度扩展）；θ为仰角



3.1 地球大气层对地球站产生的无线电噪声

通过同时发生的瞬时总衰减（不包括闪烁衰减），可以预测地球表面任何所需频率、仰角和位置的瞬时天空亮度温度 $T_B(f)$，K；以及所需位置的表面总（气压）压力、温度和水蒸气密度值，如下所示：

$$T_B(f) = 2.73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}} + T_{mr}\left(f, T_s, P_s, \rho_{w_s}\right) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}}\right) \quad \text{(K)} \qquad (10)$$

其中：

$$T_{mr}\left(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}\right) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot T_s + c_t(f) \cdot P_s + d_t(f) \cdot \rho_{w_s}, & \text{无雨时} \\ 275, & \text{有雨时} \end{cases} \quad \text{(K)} \qquad (11)$$

且：

f：频率，以 GHz 为单位，无雨时：$1 \le f \le 200$ GHz；有雨时：$1 \le f \le 55$ GHz

P_s：所需位置的瞬时总（气压）表面压力，以 hPa 为单位

T_s：所需位置的瞬时表面温度，以 K 为单位

ρ_{w_s}： 所需位置的瞬时表面水蒸气密度，以g/m^{3}为单位

θ： 地球表面所需位置的仰角

$A_T(f,\theta)$： 所需空对地倾斜路径的瞬时总大气衰减（不包括闪烁），以 dB 为单位。

所需频率的系数a_t、b_t、c_t和d_t应在数据文件Tmr_approx.txt中的频率之间进行线性插值，该文件是本建议书的组成部分。该数据文件包含第2、3、4和5栏中的系数a_t、b_t、c_t和d_t，分别对应第1栏中1 GHz至200 GHz之间的频率，以0.5 GHz为增量。

Tmr_approx.txt

3.1.2 亮度温度统计预测方法

对于任何所需的频率、仰角、地球表面位置和超越概率（CCDF）、p%，天空亮度温度统计数据$T_B(f,p)$K，可以根据总衰减（不包括闪烁衰减）与超越概率之比；以及所需位置上总（气压）压力、温度和水蒸气密度的平均表面值进行预测，如下所示：

$$T_B(f,p) = 2.73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f,p,\theta)}{10}} + T_{mr}\left(f,\overline{P_s},\overline{T_s},\overline{\rho_{w_s}}\right) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f,p,\theta)}{10}}\right) \quad \text{(K)} \qquad (12)$$

其中：

$$T_{mr}\left(f,\overline{P_s},\overline{T_s},\overline{\rho_{w_s}}\right) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot \overline{T_s} + c_t(f) \cdot \overline{P_s} + d_t(f) \cdot \overline{\rho_{w_s}}, & \text{无雨时} \\ 275, & \text{有雨时} \end{cases} \quad \text{(K)} \qquad (13)$$

且：

f： 频率，单位为GHz，无雨时：$1 \le f \le 200$ GHz；有雨时：$1 \le f \le 55$ GHz

$\overline{P_s}$： 所需位置平均总（气压）地表压力，单位为hPa

$\overline{T_s}$： 在所需位置的平均表面温度，单位为K

$\overline{\rho_{w_s}}$： 所需位置平均地表水汽密度，单位为g/m^3

θ： 所需位置上地球表面的仰角

$A_T(f,p,\theta)$： 总大气衰减，单位为dB，不包括所需空对地倾斜路径上超出概率p时的闪烁。

相关频率的系数 a_t、b_t、c_t和 d_t应在数据文件Tmr_approx.txt中的频率之间进行线性插值，该文件是本建议书的组成部分。该数据文件包含第 2、3、4 和 5 栏中的系数a_t、b_t、c_t和 d_t，分别对应第1栏中1 GHz至200 GHz之间的频率，以0.5 GHz为增量。

Tmr_approx.txt

3.2 地球大气和地球表面对空间站产生的无线电噪声

从某一天底角观察到的地表亮温，可采用辐射传输公式进行计算，以便对下降流大气辐射的反射以及地表辐射的发射加以说明。

这项计算包括下降流大气辐射在所有角度的集成，还包括大气衰减。

可将它简化为：

$$T = \varepsilon \cdot T_{surf} + \rho\, T_{atm} \tag{14}$$

其中：

ε: 表层的有效放射率

ρ: 有效反射系数

T_{surf}: 地表的物理温度（K）

T_{atm}: 天空亮温加权平均值。

在高达 100 GHz 但尤其是低于 10 GHz 时，反射系数ρ通常很高，而放射率 ε 很低。

图 7a)给出了垂直和水平极化以及两个入射角的平静水面放射率和亮温。值得注意的是，在 5 GHz 以上就无法辨别淡水和咸水。

图 7b)显示了在每千份盐水中含有 36 份盐的情况下，作为海平面物理温度函数的三个频率的海平面天底亮温。

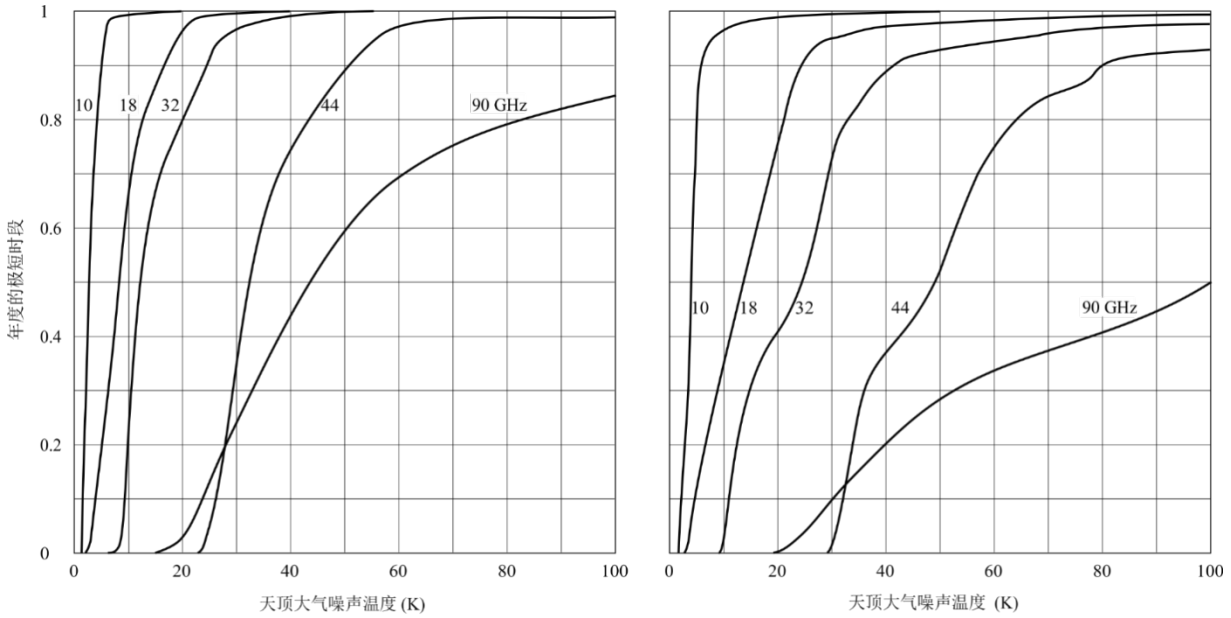
图 7c)和 7d)提供了在风速情况下海平面的亮温上升，这也为风暴探测提供了有力工具。

由于陆地介电常数较低，地表的放射率（和由此产生的亮温）高于水面。图 8a)显示了平坦旷野在不同湿度情况下的亮温；图 8b)则介绍了不同粗糙度下的亮温。曲线代表垂直、水平和圆形极化。如果湿度上升，亮温就会下降；粗糙度越高，亮温也越高。

图9展现的是卫星利用地球覆盖波束（地球充斥3 dB点之间的主要波束），从对地静止轨道观察到的亮温计算结果。随着卫星围绕其轨道运行，我们可以在东经30°观察到非洲地块（热），在西经180°至150°看到太平洋（冷）。主要由于气体吸收的原因，亮温随频率的提高而增加。曲线代表美国标准大气模式测得的2.5 g/m^{3}水汽和50%的云层。地球覆盖天线图表示为$G(\varphi) = -3(\varphi/8.715)^2$ dB且$0 \le \varphi \le 8.715$，其中φ为偏离角。

图6

瞬时天顶天空噪声（亮度）
典型年份的温度等于或小于横坐标值



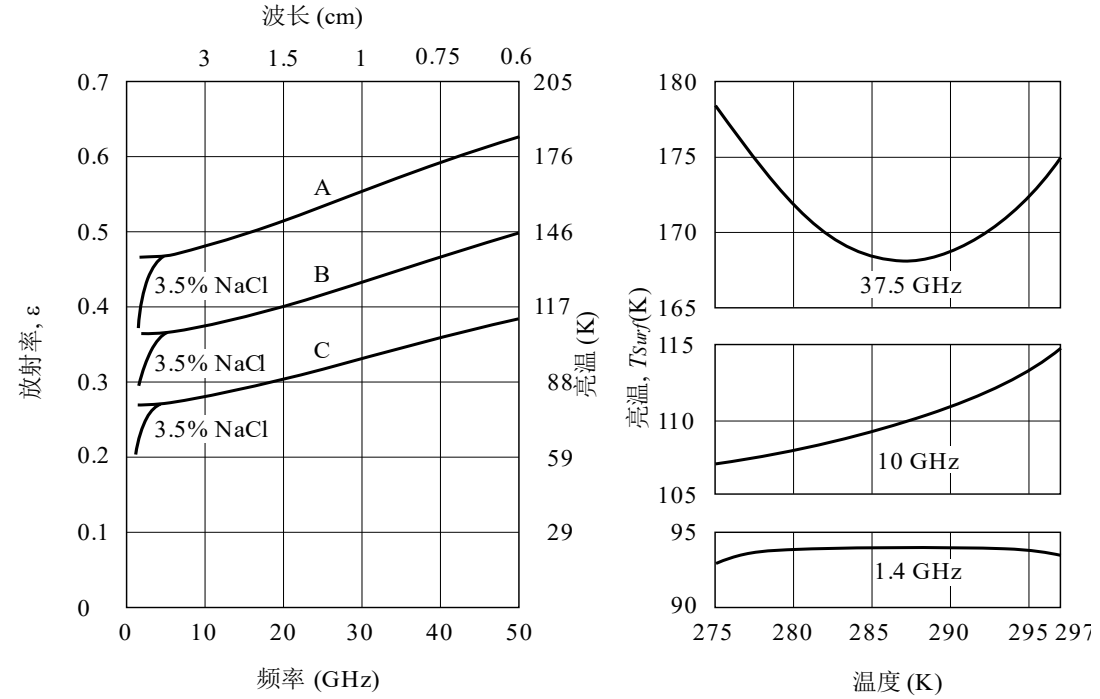
a) 美国亚利桑那州犹马镇（总降雨量55毫米，1961年）

b) 美国纽约州纽约市（总降雨量985毫米，1959年）

P.0372-06

图7

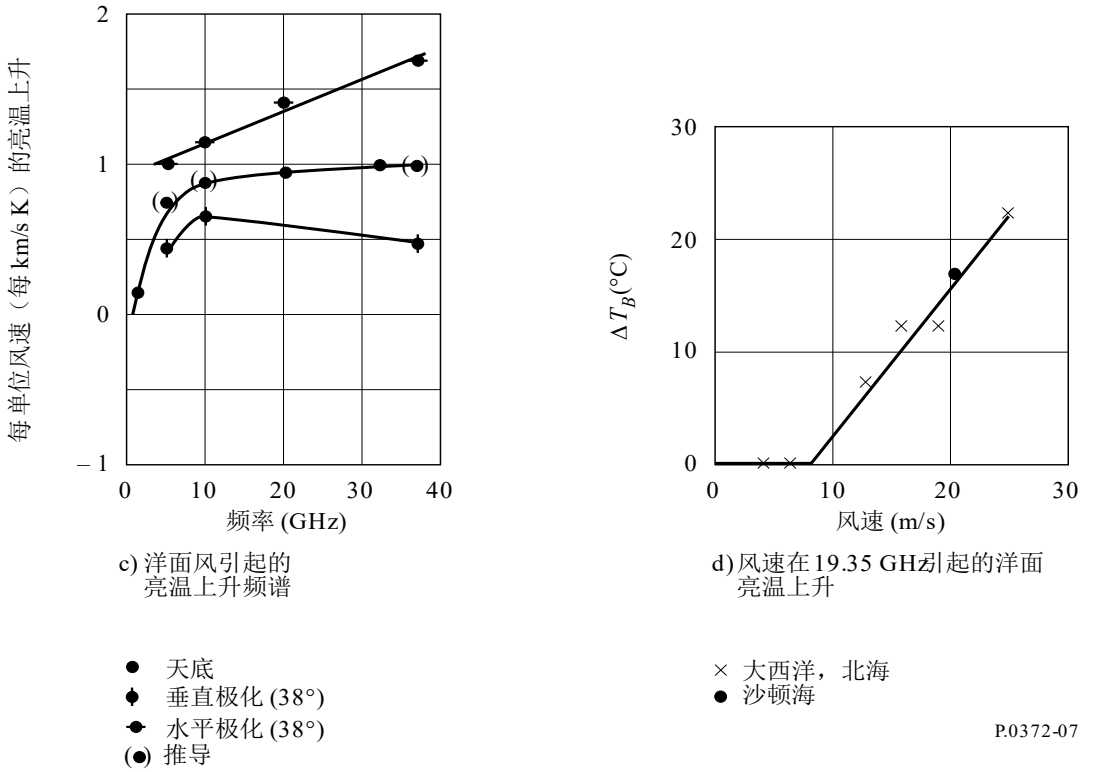
海平面放射和亮温的变化



a) 平静水面的放射率

A: 垂直极化
B: 45°和0°入射角
C: 水平极化

b) 在每千份盐水中含36份盐的情况下，作为海平面温度函数（天底）的海平面亮温

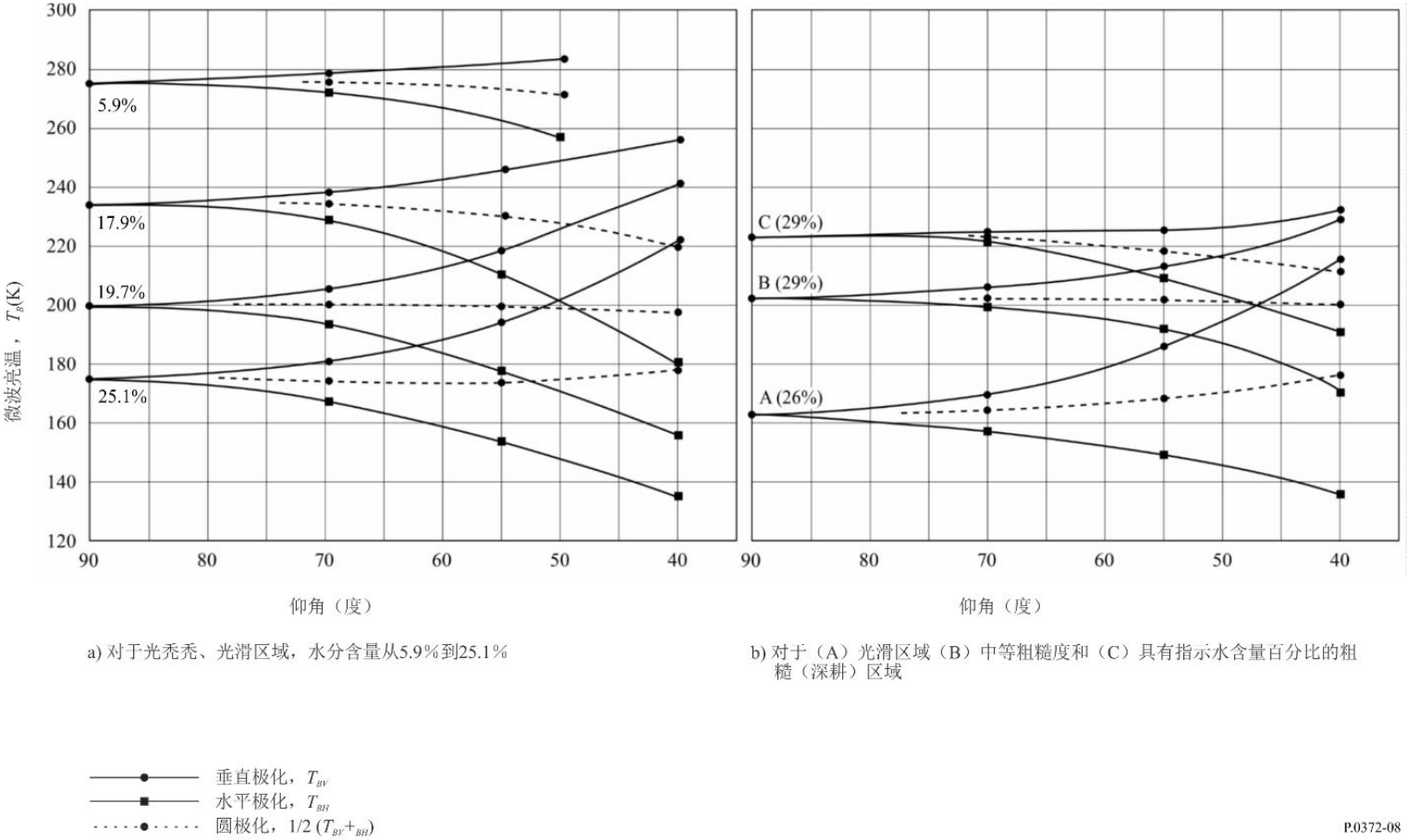


c) 洋面风引起的亮温上升频谱

d) 风速在19.35 GHz引起的洋面亮温上升

图8

地面1 430 MHz处的亮温与仰角的关系

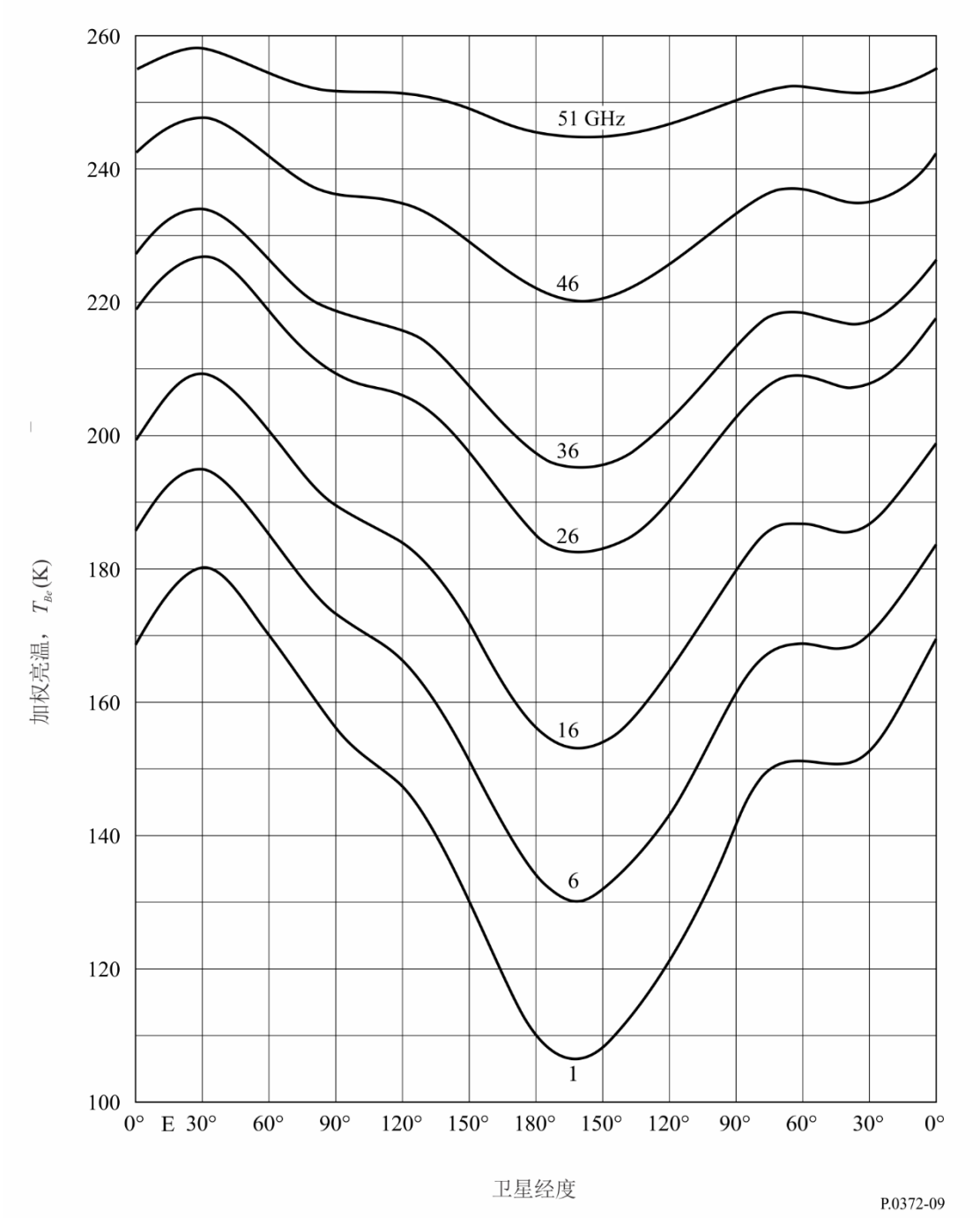


a) 对于光秃秃、光滑区域，水分含量从5.9%到25.1%

b) 对于（A）光滑区域（B）中等粗糙度和（C）具有指示水含量百分比的粗糙（深耕）区域

图9

在1至51 GHz频率的对地静止卫星轨道观察到的
作为经度函数的地球加权亮温



第四部分

地外源造成的亮温

4.1 地外源造成的亮温

2 GHz 以下的通信通常涉及太阳和银河系（银河），而银河系犹如一条宽阔有力的发射带。当频率高达 100 MHz 时，在对电离层屏蔽忽略不计的情况下，垂直天线的银河噪声的噪声中间值表示为：

$$F_{am} = 52 - 23\,log\,f \qquad \text{(dB)} \tag{15}$$

其中：

f: 频率（MHz）。

银河噪声功率的平均十分位偏差为 ±2 dB。

对此类情况而言，银河噪声的较高十分位偏差和较低十分位偏差均为2 dB。

频率值低于foF2时将无法观测到银河噪声且频率在foF2三倍以内时，银河噪声将小于公式(16)给出的值。

在2 GHz以上，我们只需要考虑太阳和少数几个极强的非热源，如仙后座A、天鹅座A和X以及蟹状星云，因为宇宙背景的贡献率仅为2.7 K，而是银河似乎是一个在一定程度上提高了强度的狭窄区域。图10说明了0.1至100 GHz频率范围内常见的地外噪声源的亮温范围。

图11a、11b、11c和11d以图表形式说明了被平整至5°角解析度的整个408 MHz的无线电天空温度。图11提供了赤道座标、偏角δ（纬度）和赤经α（自春分向东绕赤道运行的小时）。等高线直接以高于2.7 K的K数表示。精确率为1 K。等高间隔为：

– 60 K以下2 K，

– 60 K至100 K之间4 K，

– 100 K至200 K之间10 K，

– 200 K以上20 K。

未加标识的等高线顺时针指向亮度分布的最低值。

在图11a和11d中，±23.5°之间的虚正弦曲线确定了在接近银河中心处贯穿银河的黄道。也就是说，在对星际空间的航天器进行观察时，可能需要考虑到这一因素。温度分布的狭窄峰值显示了最强的点源，但由于角解析度有限，较弱的点源则不那么突出。

银河背景辐射随频率变化。对于这种辐射，可通过以下方式得出其他频率f_i的亮温

$$T_b\,(f_i) \;=\; T_b\,(f_0)\,(f_i/f_0)^{-2.75} \;+\; 2.7 \qquad \text{K} \tag{16}$$

因此由于$T_b = 200$ K, $f_0 = 408$ MHz和$f_i = 1$ GHz，从这一推断可以得出：

$$T_b \;=\; 19.7 \qquad \text{K}$$

在利用这一公式做出更准确的推断时，必须考虑到频率范围和天空成分的变化。对于点源而言，强度随频率的变化取决于各自不同的物理条件。

对于使用对地静止轨道卫星的电信业务，正如图 12a)所示，其关注点仅限于天空中很小的一部分。图 12b)显示了偏角（±8.7°）的相应范围，指出了最强源。

太阳是一强大的可变声源，其噪声温度在 50 至 200 MHz 的范围内约为 10^6 K，在宁静太阳条件下的 10 GHz 频率至少为 10^4 K。噪声温度在太阳受干扰时会大幅度上升。月亮的亮温几乎独立于 1 GHz 以上的频率；并在新月的 140 K 和满月的 280 K 之间变化。太阳的路径处于黄道面之中（见图 11 的虚线部分）。在黄道面±5°偏角内可以观测到月亮。

图10

地外噪声源

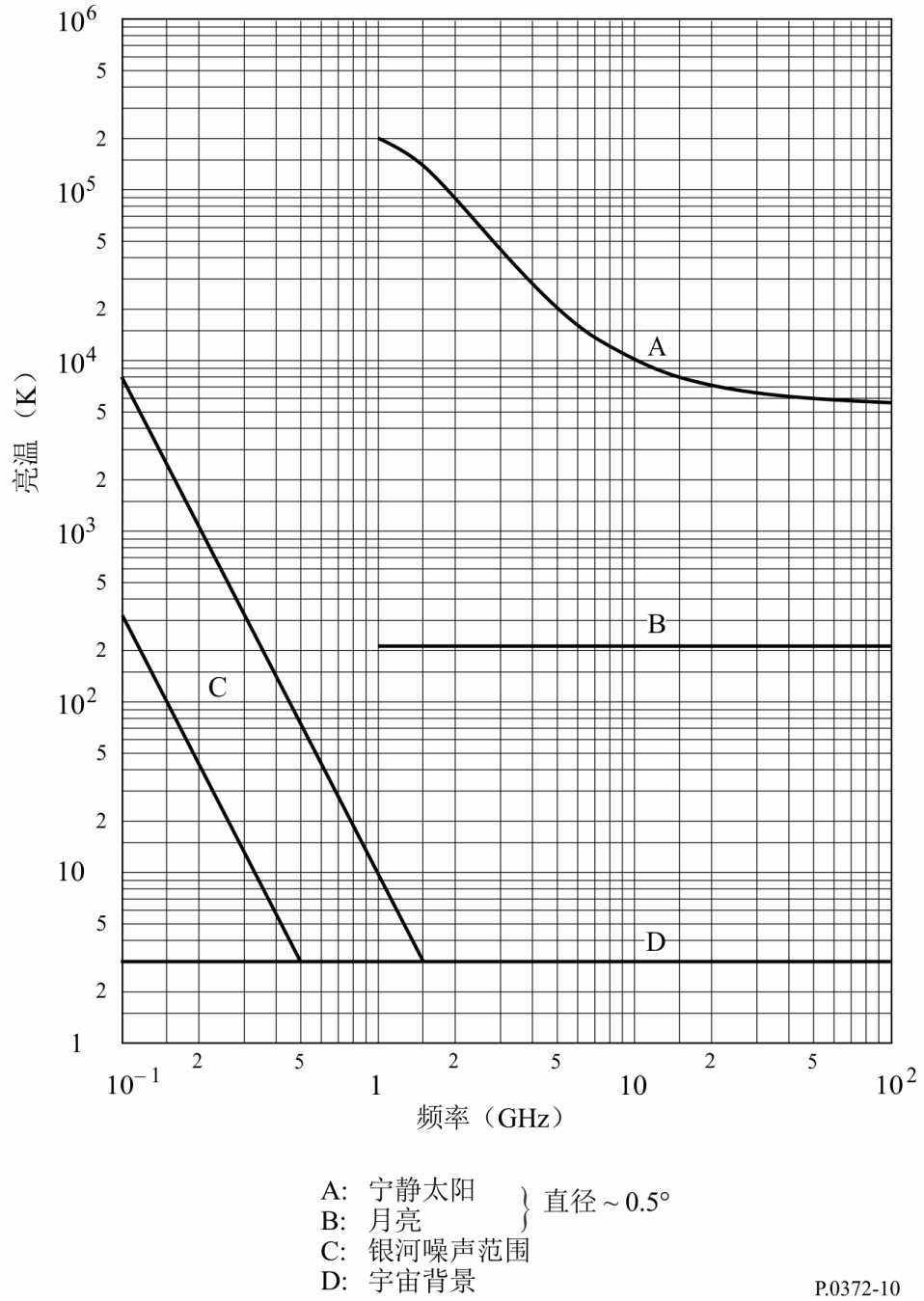
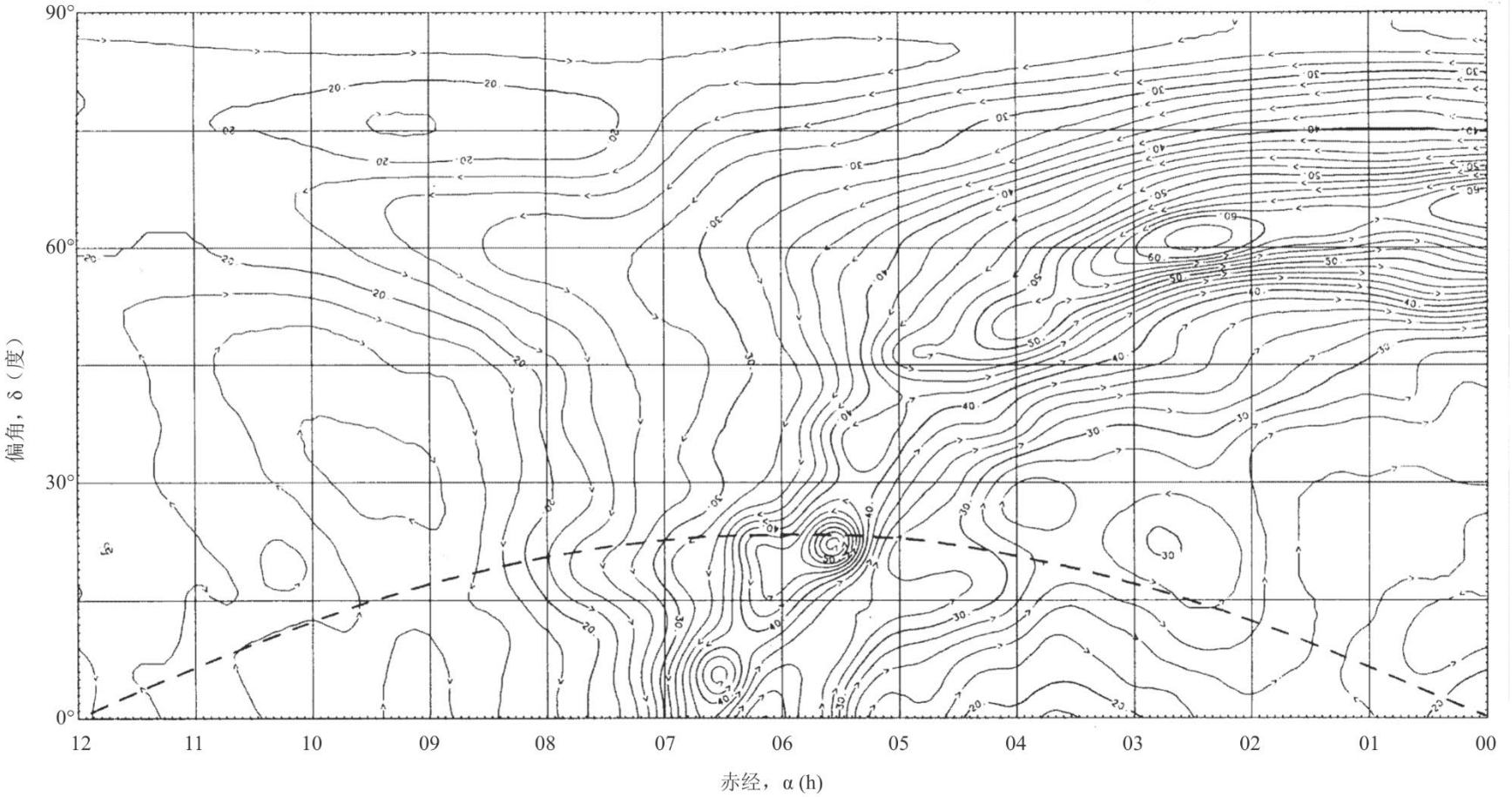


图11a

408 MHz的无线电天空温度

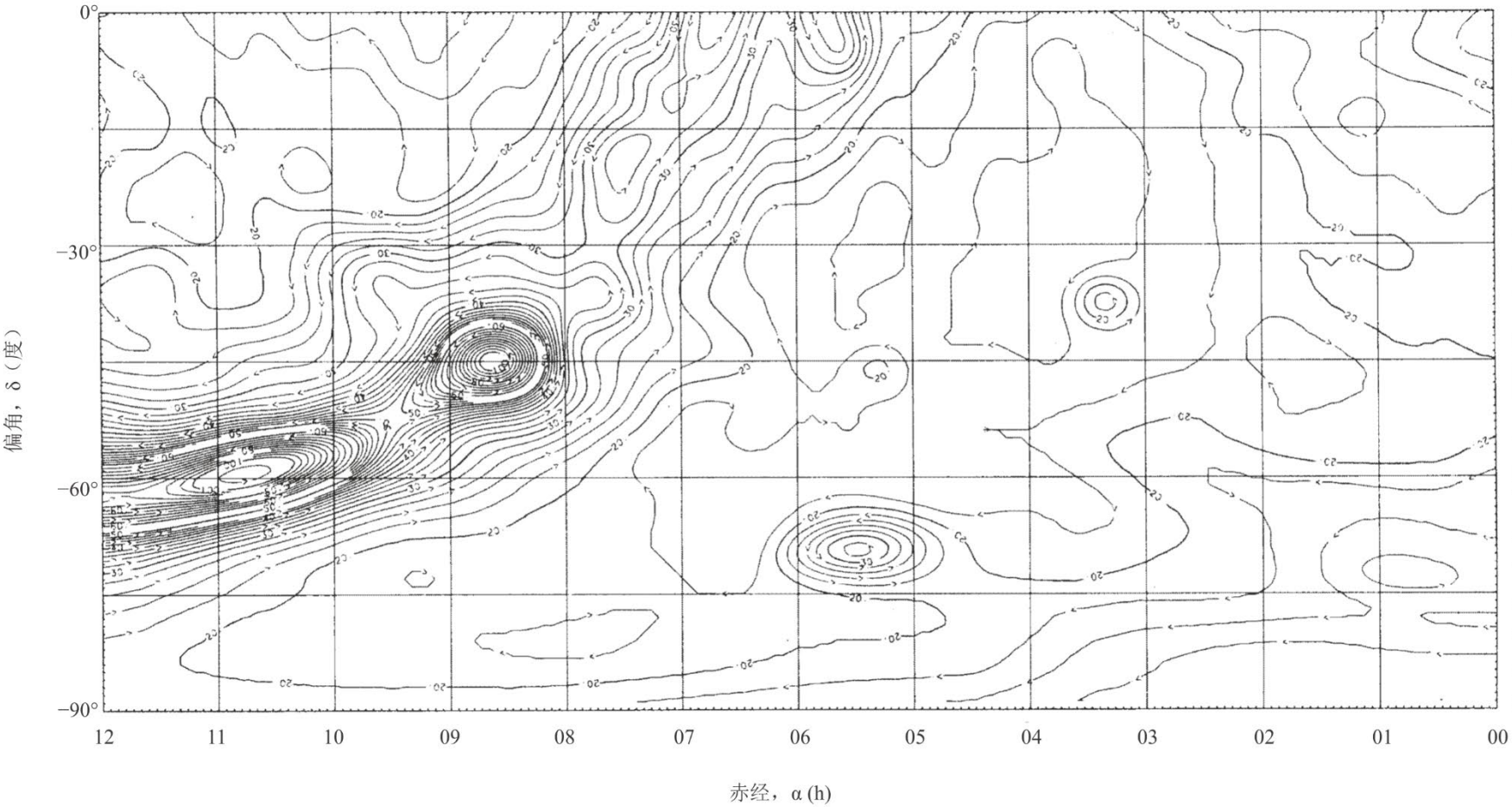


P.0372-11a

赤经0000时至1200时，偏角0°至+90°，虚曲线；黄道

图11b

408 MHz的无线电天空温度

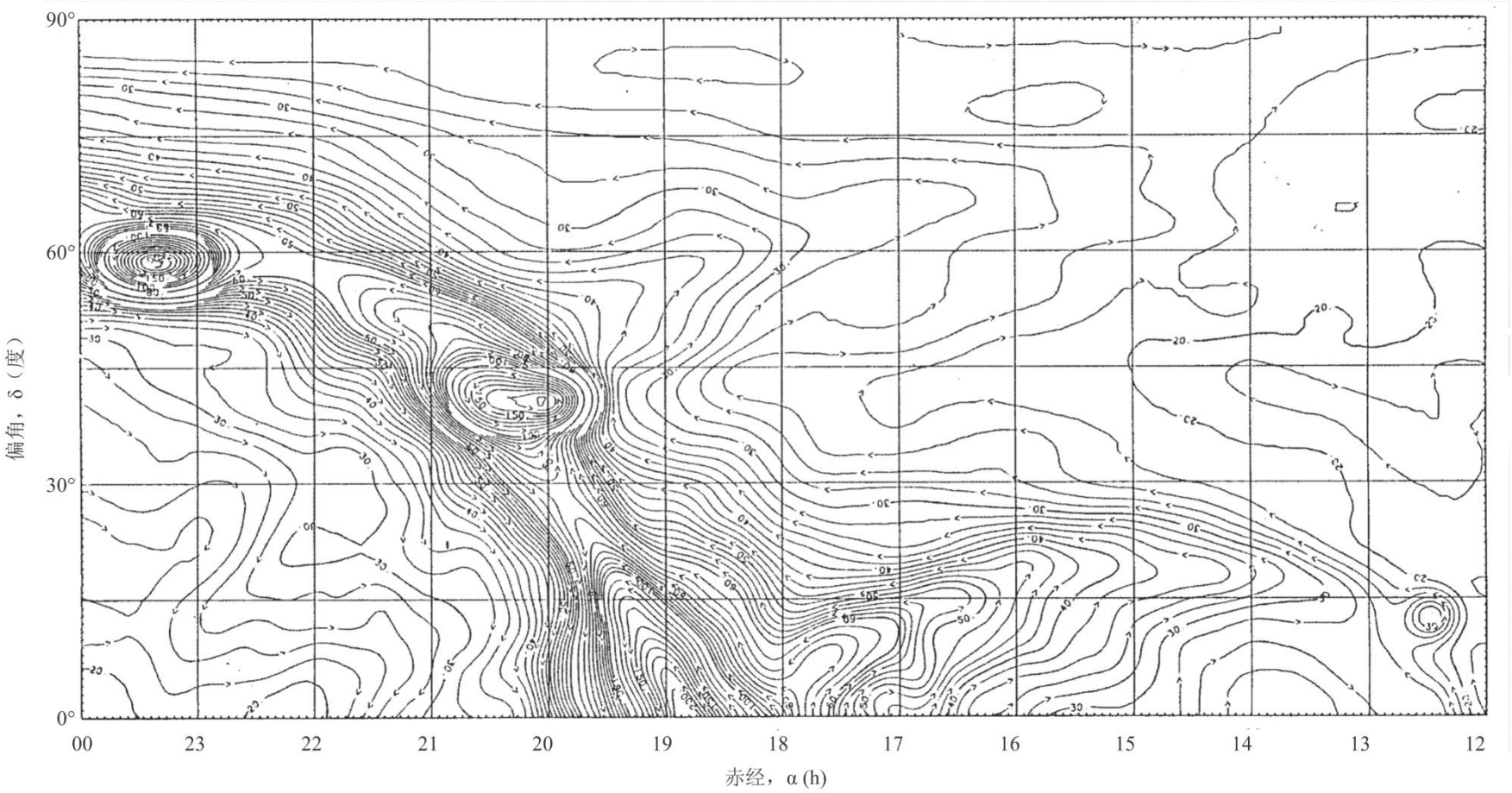


赤经0000时至1200时，偏角0°至-90°

P.0372-11b

图11c

408 MHz的无线电天空温度

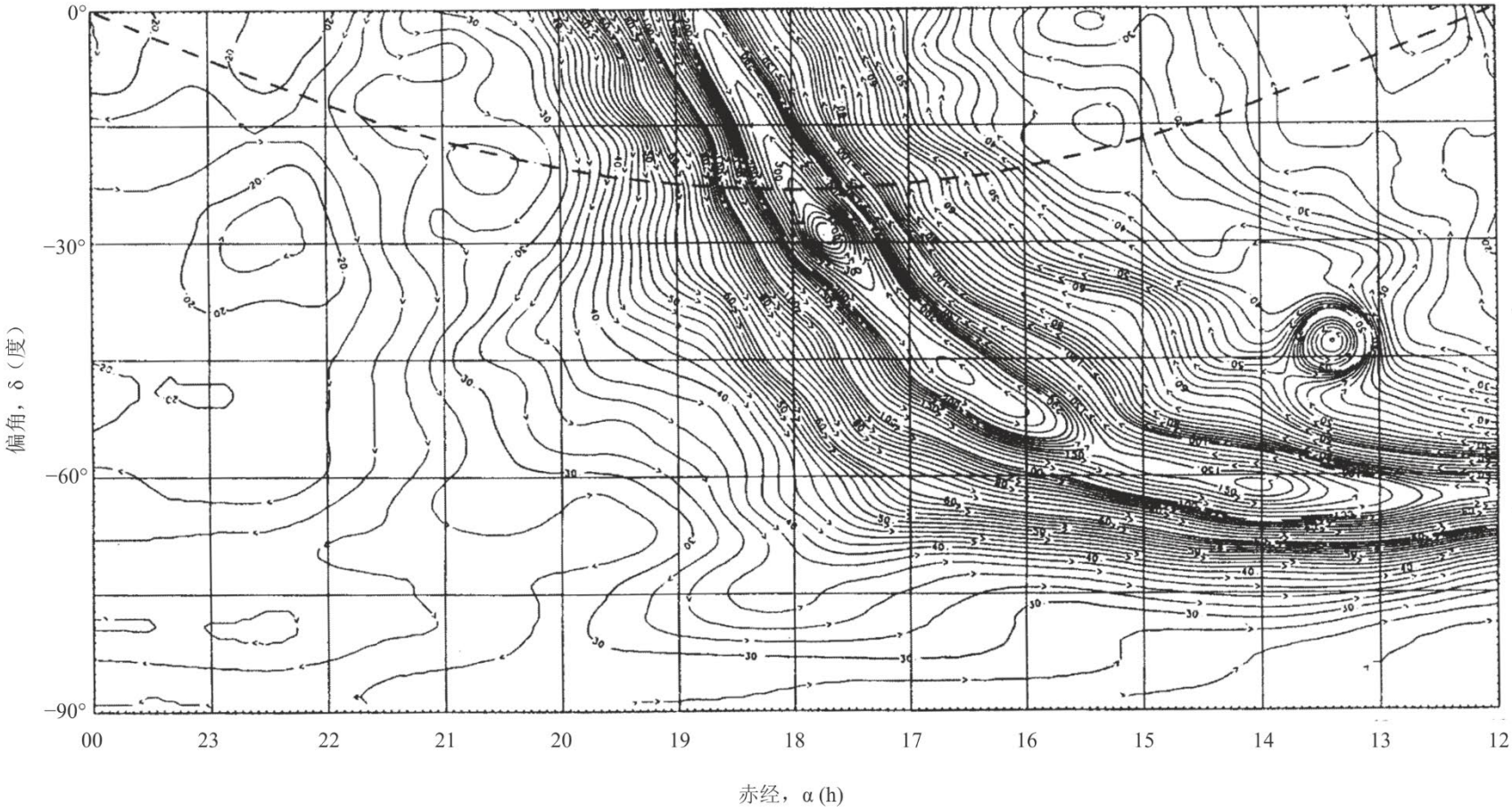


赤经1200时至2400时，偏角0°至+90°

P.0372-11c

图11d

408 MHz的无线电天空温度

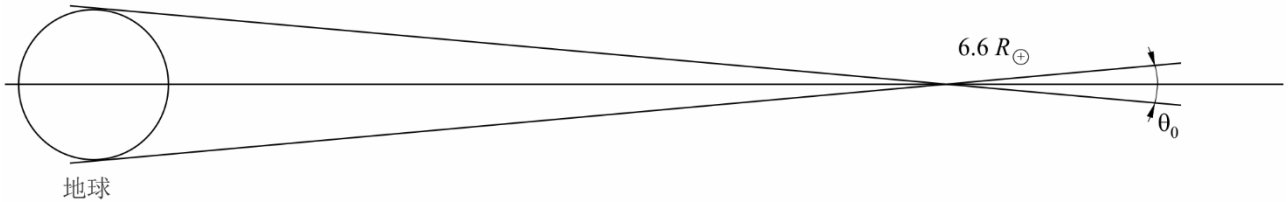


赤经1200时至2400时，偏角0°至-90°，虚曲线；黄道

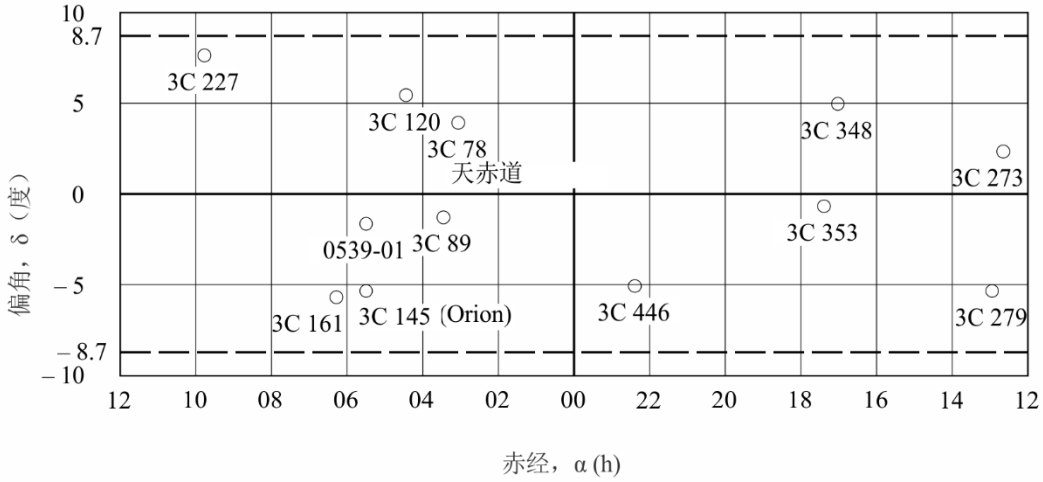
P.0372-11d

图12

具有对地静止轨道卫星的与电信相关的天空部分



a) 从地球观察到的对地静止卫星轨道显示θ_0（$R_{\oplus}$：地球半径平均）



b) 大约在天赤道±8.7°范围内的最强无线电源(○)的位置。
数字为目录名称，如3C指第三个Cambridge

P.0372-12

第五部分

雷电引起的大气噪声

5.1 雷电引起的大气噪声

图13a至 36a展示的世界背景大气无线电噪声示意图，显示了在以4小时为单位的当地时间的每个三个月时间段，平均噪声功率F_{am} (dB)在1 MHz频率超过$k\ T_0\ b$时的预计中间值。三个月的时间段是1) 十二月、一月、二月 2) 三月、四月、五月 3) 六月、七月、八月 4) 九月、十月、十一月。4小时制时间块以当地时间为单位，在不同的15°经度区域内为相同的当地时间。图13b至36b给出了F_{am}在各季度时间段随频率变化的情况，也可从图13c至36c看到其他噪声参数随频率变化的情况。这些大气噪声估算所用的参考天线为通过理想导体地面的短单极垂直天线。（ITU-R P.341建议书附件2中讨论了理想导体地面的影响）。估值来自各个方向聚合的大气噪声，不适合考虑实际天线的方向性。从第2条可获得入射场强。

将会看到，显示的大气噪声值低于预计的人为噪声和银河噪声电平。应谨慎地使用这些数值，因为在没有其他类型噪声的情况下，这些数值只代表对可能纪录的大气噪声电平的估值。然而对数据的研究显示，只在极罕见情况下对这些电平做过实际测量。

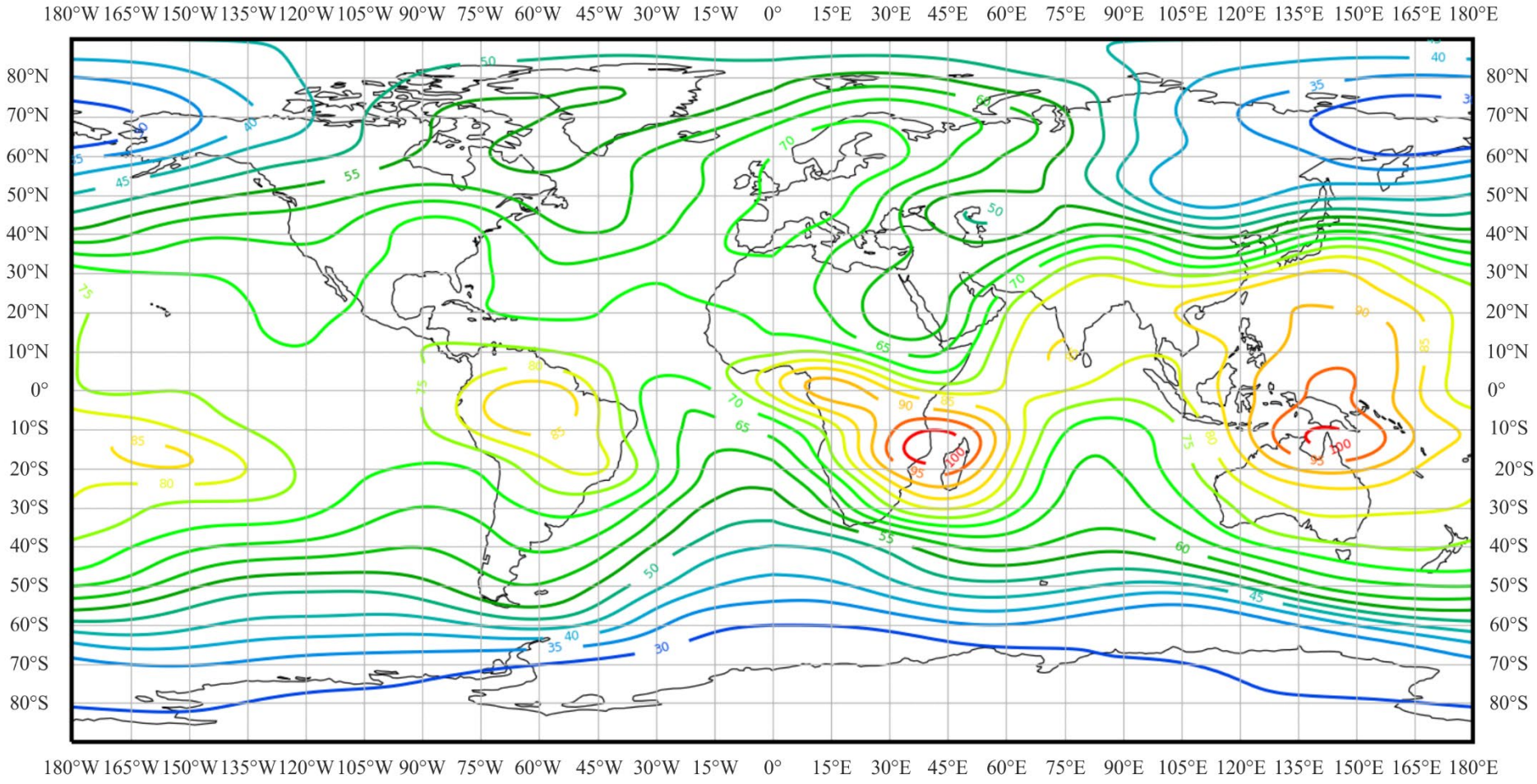
雷电引起的大气噪声通常不具有高斯性，其概率密度函数可能是确定数字系统性能所必需的。这类噪声振幅概率分布（APD）是以电压偏差V_d以及均方根与噪声包络电压平均值的比率加以说明的。

图37提供了与各种V_d值相对应的APD曲线，其中r.m.s.包络电压A_{rms}被用作参考。经测量的V_d值围绕预测中间值V_{dm}发生变化，并由σV_d说明其变化情况。APD曲线适用于广泛的带宽范围。（图13c-36c）给出的V_d估计值适用于200 Hz带宽，而图39提供了将200 Hz V_d转换为其他带宽的相应V_d的方法。图39仅适用于MF和HF频率，因此在将这些结果用于较低频率（即LF、VLF、ELF）时需谨慎从事。

这些图的用法如下。出于上述原因，可从噪声示意图（图13a-36a）中看到1 MHz频率的F_{am}值。将此值作为噪声级别，便可从频率曲线（图13b-36b）中为所需频率确定F_{am}值。从图13c至36c可获得所需频率的σ_{Fam}、D_u、σ_{Du}等可变性参数。可以通过假设中间值每一侧的对数正态半分布，获得其他部分时间的D和σ_D值。

图13a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（12-1-2月； 0000-0400 LT）



P.0372-13a

图13b

无线电噪声随频率的变化（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；0000-0400 LT）

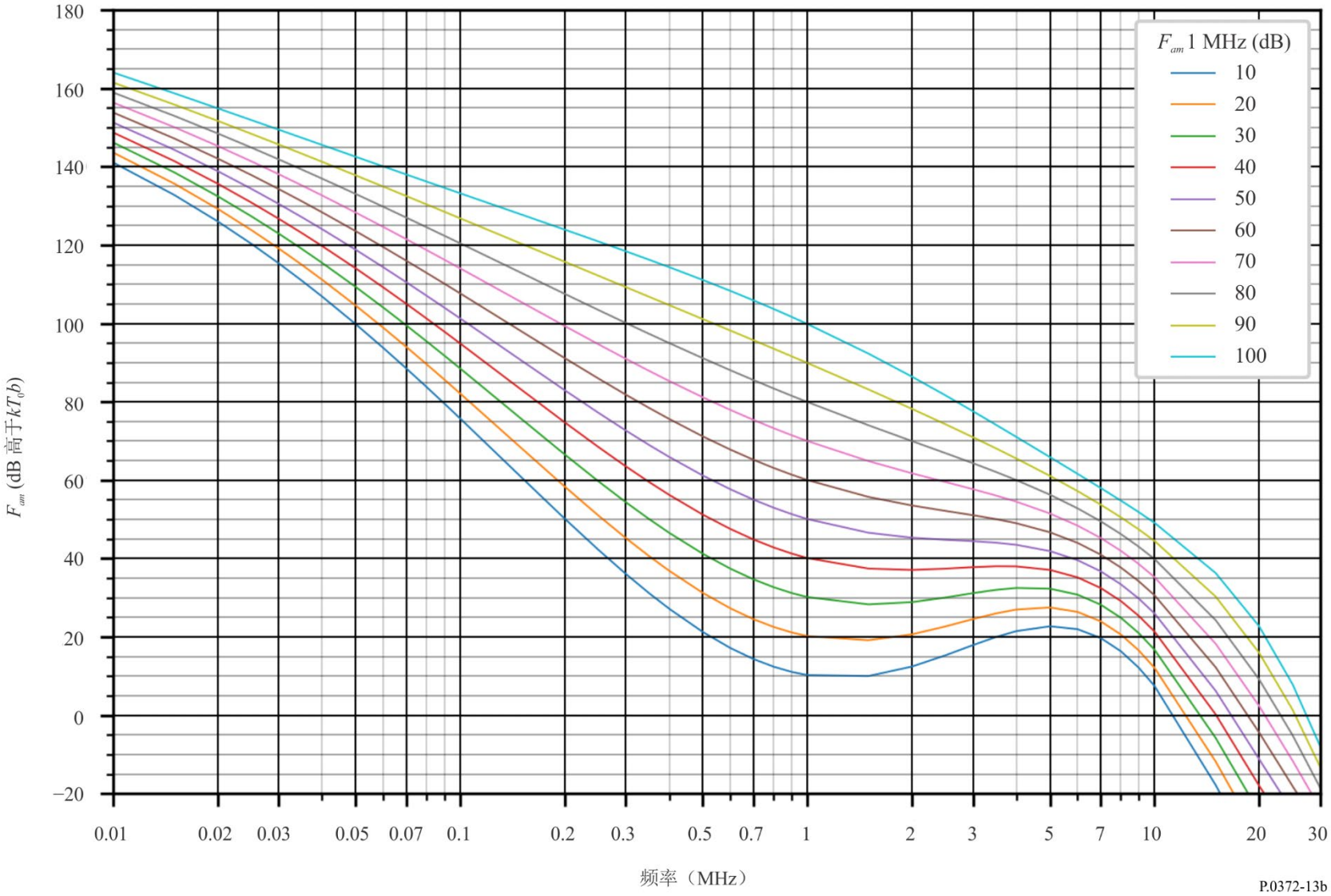


图13c

噪声可变性和特性数据（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；0000-0400 LT）

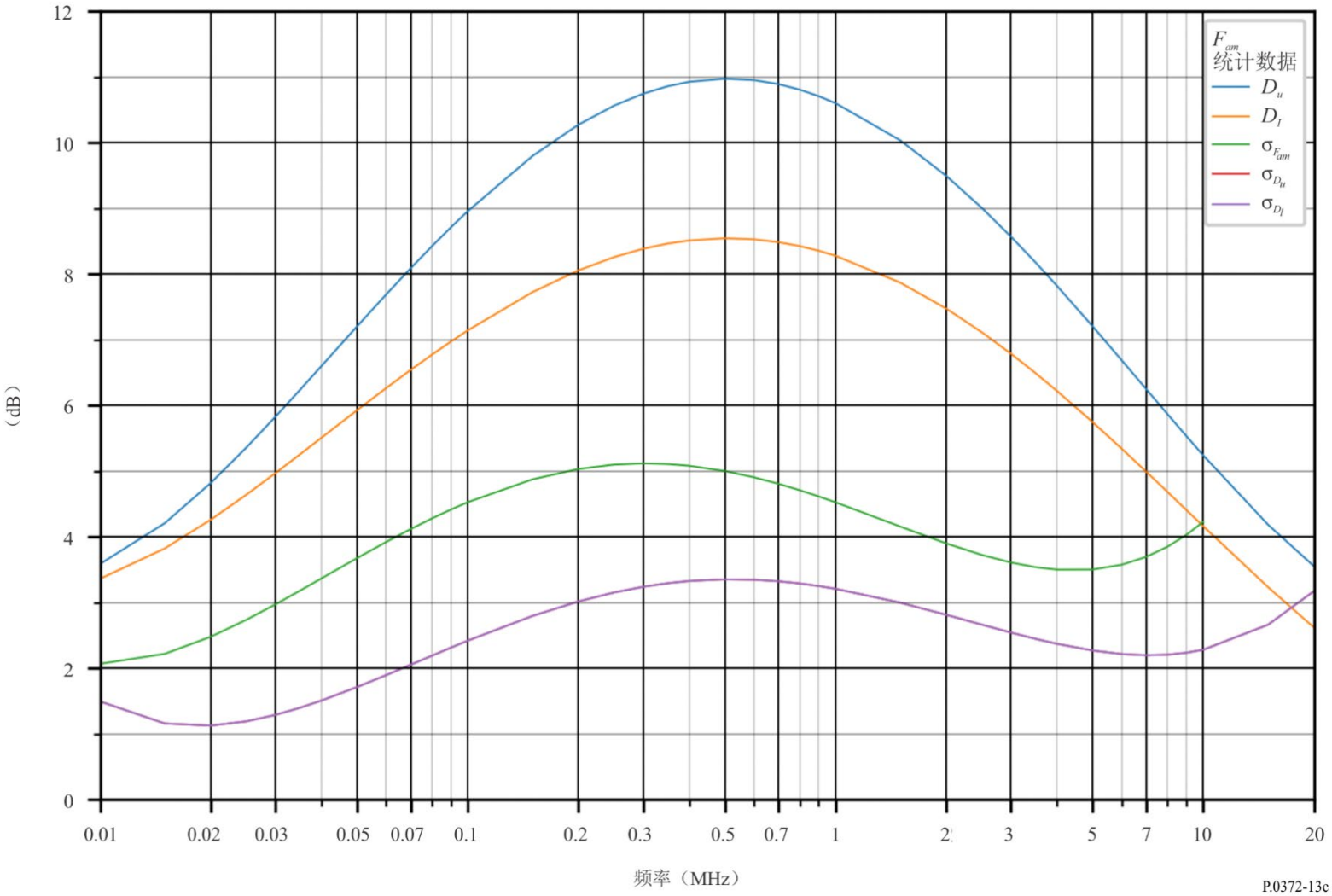
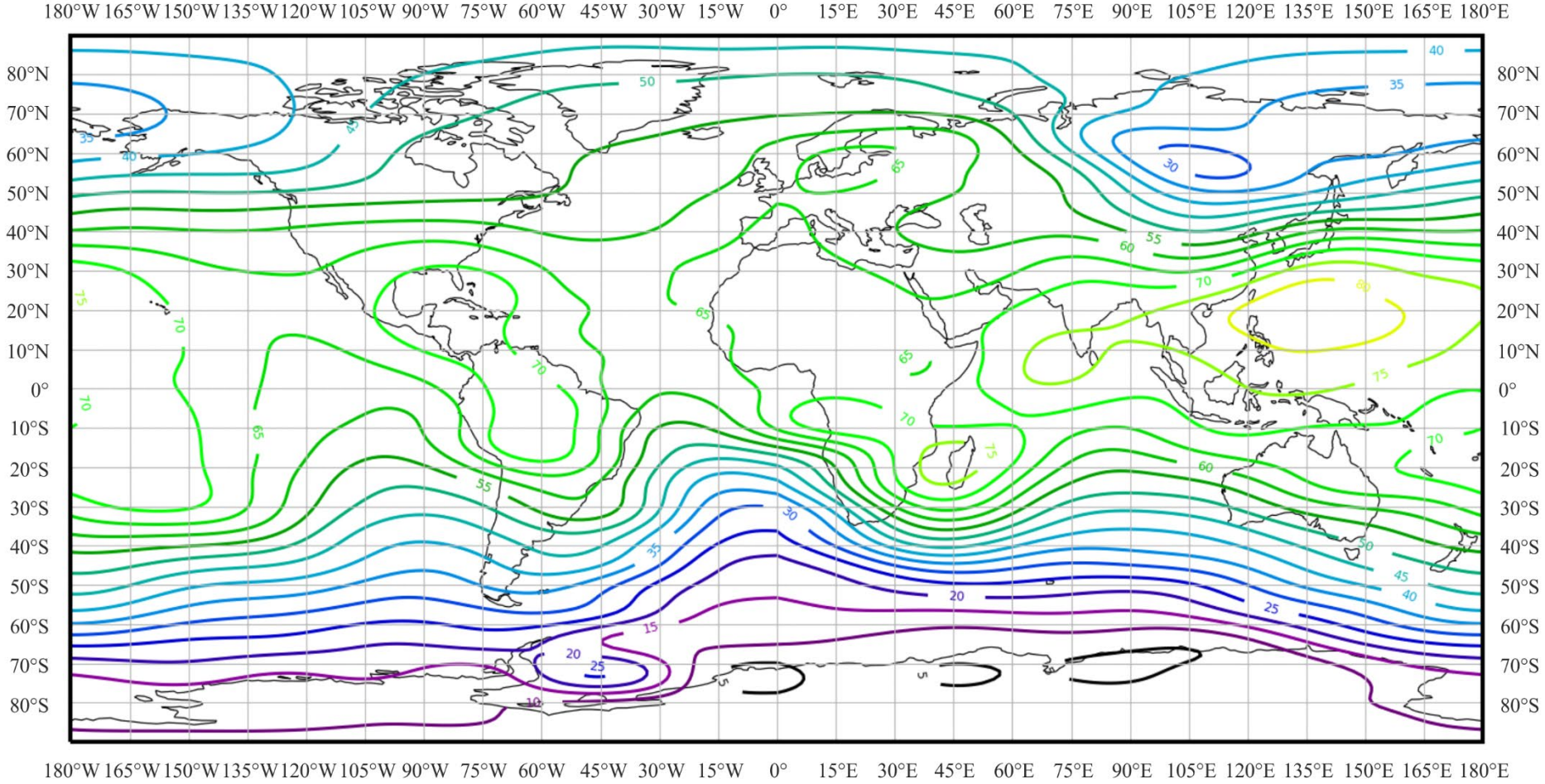


图14a

大气无线电噪声的预计值，F_{AM}（1 MHZ的DB高于KT_0B）（12-1-2月；0400-0800 LT）



P.0372-14a

图14b

无线电噪声随频率的变化（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；0400-0800 LT）

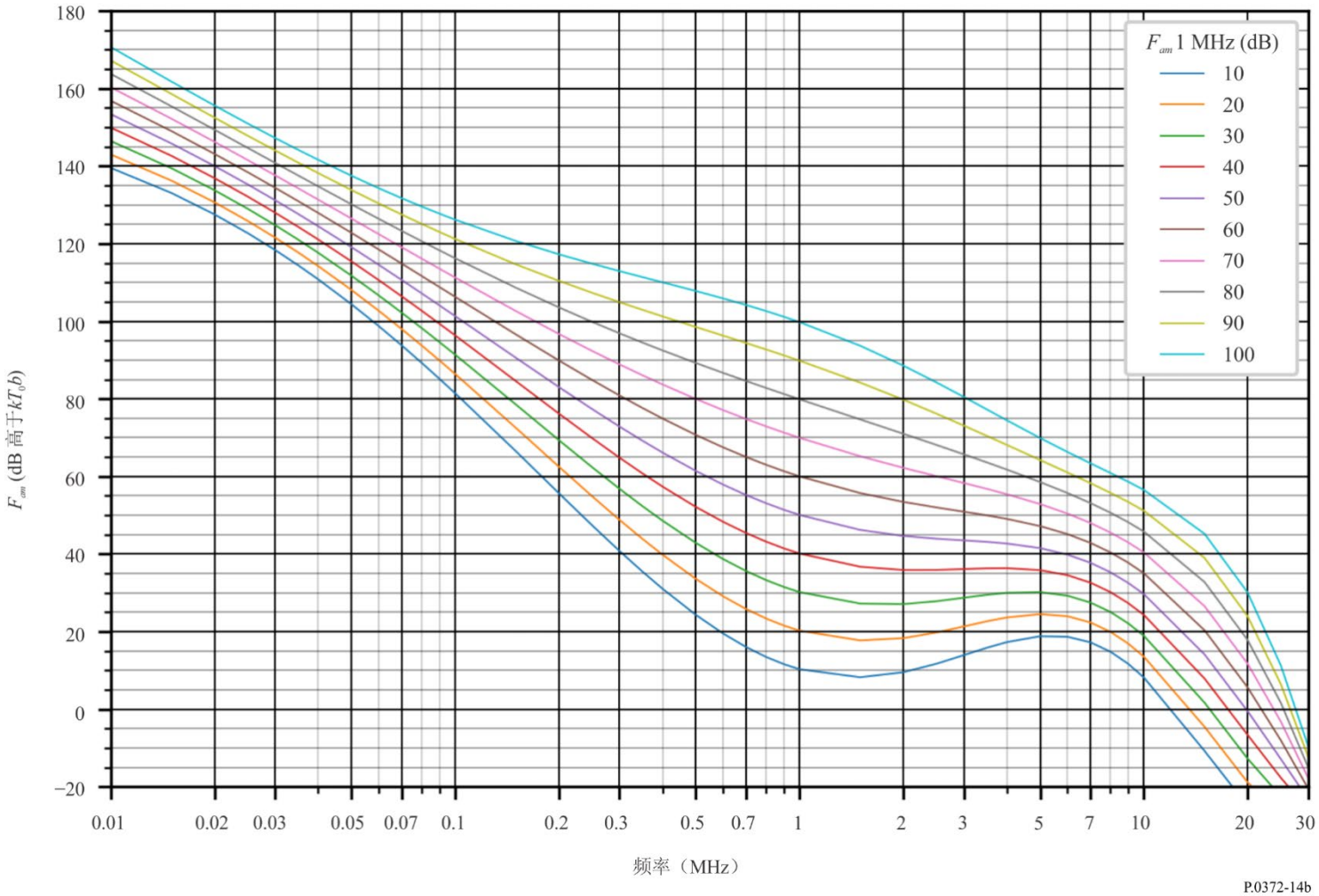


图14C

噪声可变性和特性数据（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；0000-0400 LT）

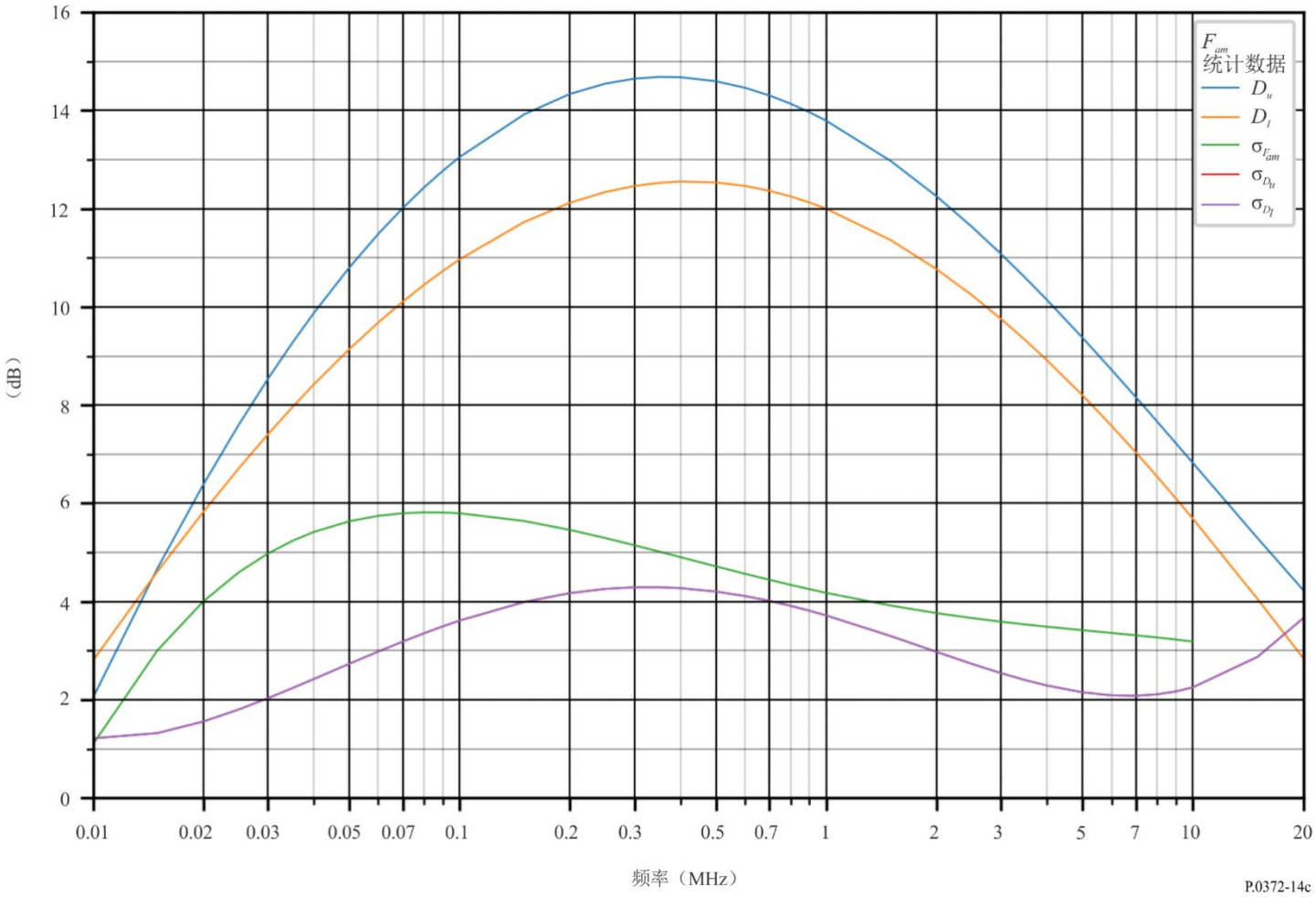
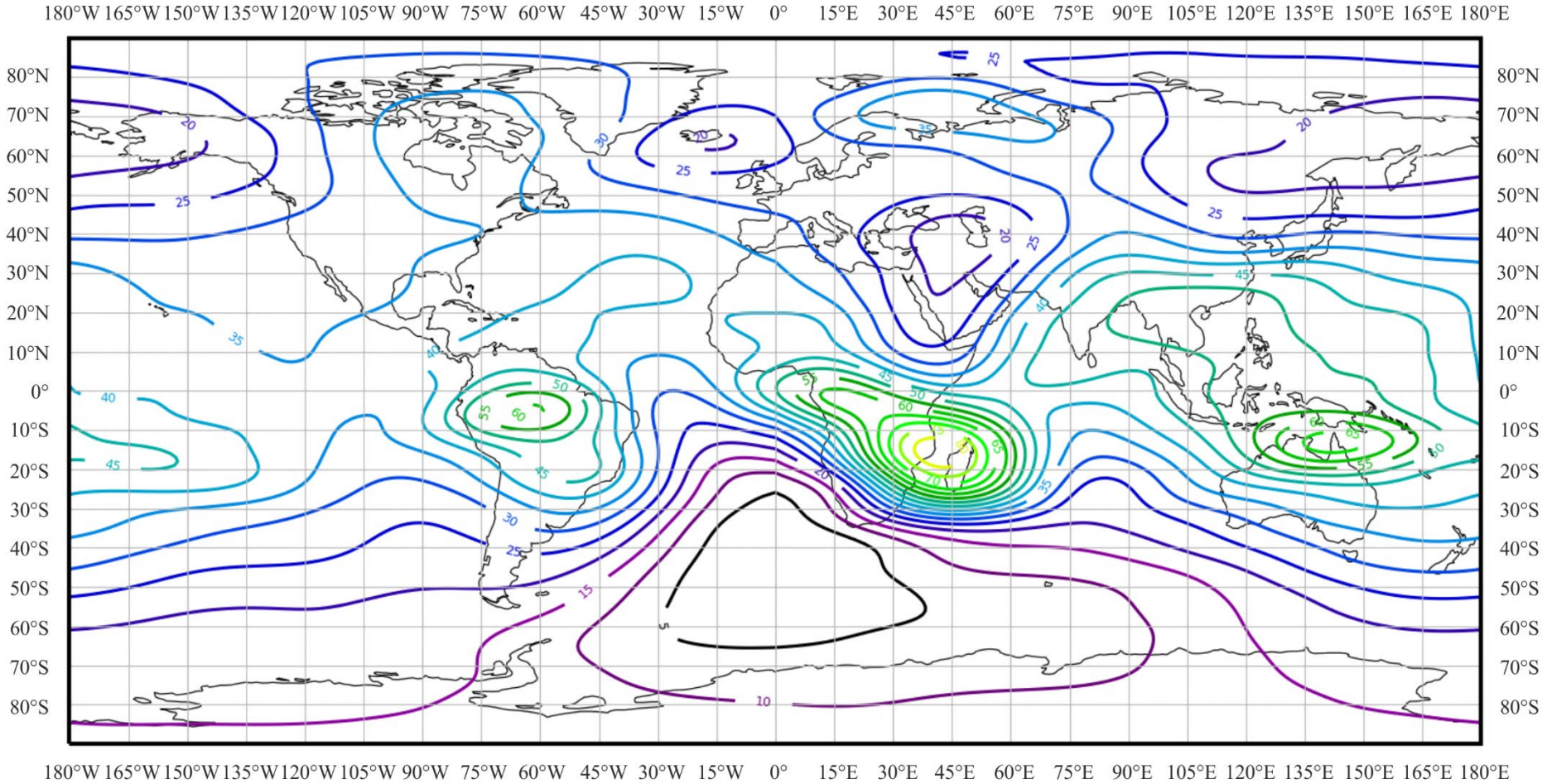


图15a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（12-1-2月；0800-1200 LT）



P.0372-15a

图15b

无线电噪声随频率的变化（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；0800-1200 LT）

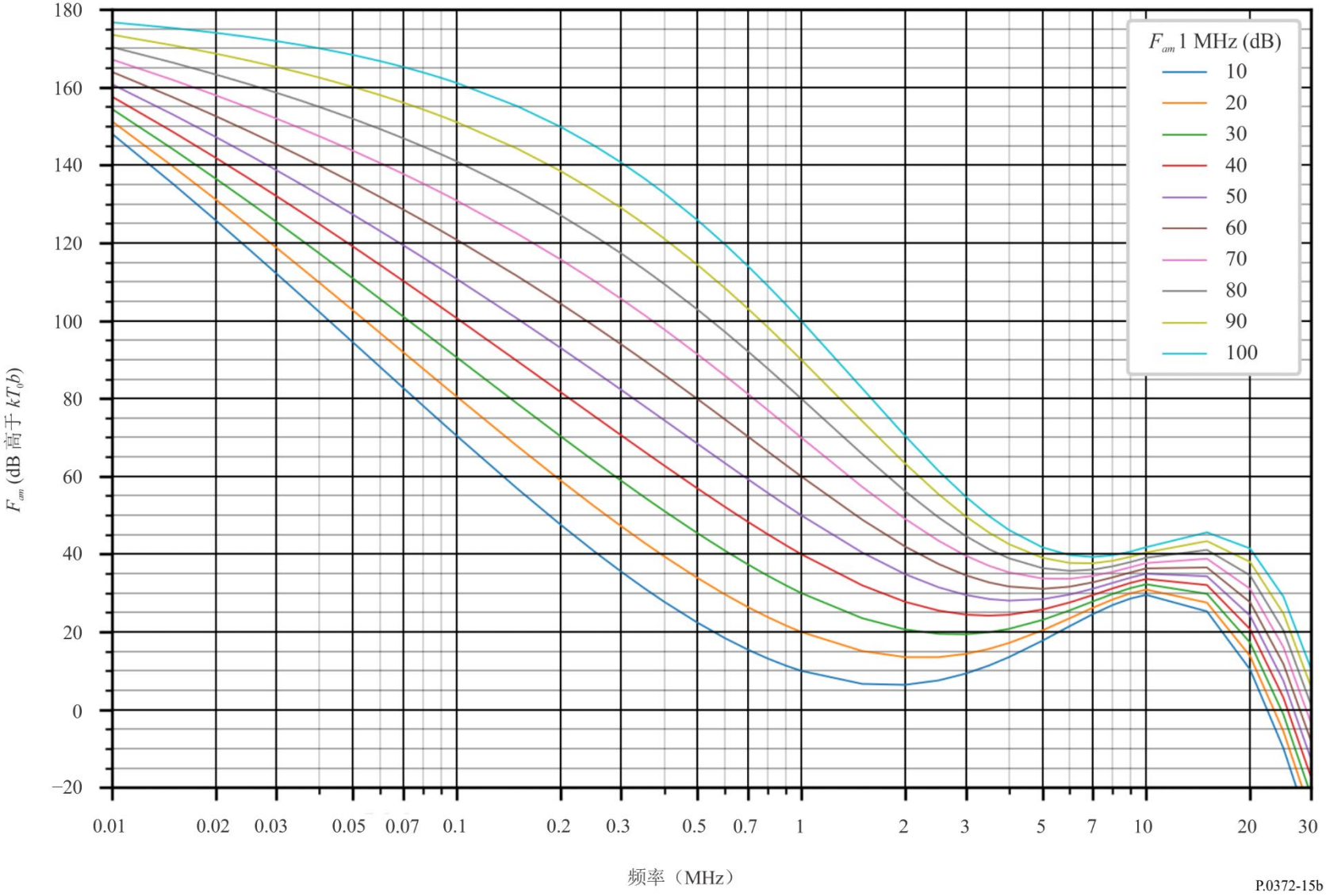


图15c

噪声可变性和特性数据（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；0800-1200 LT）

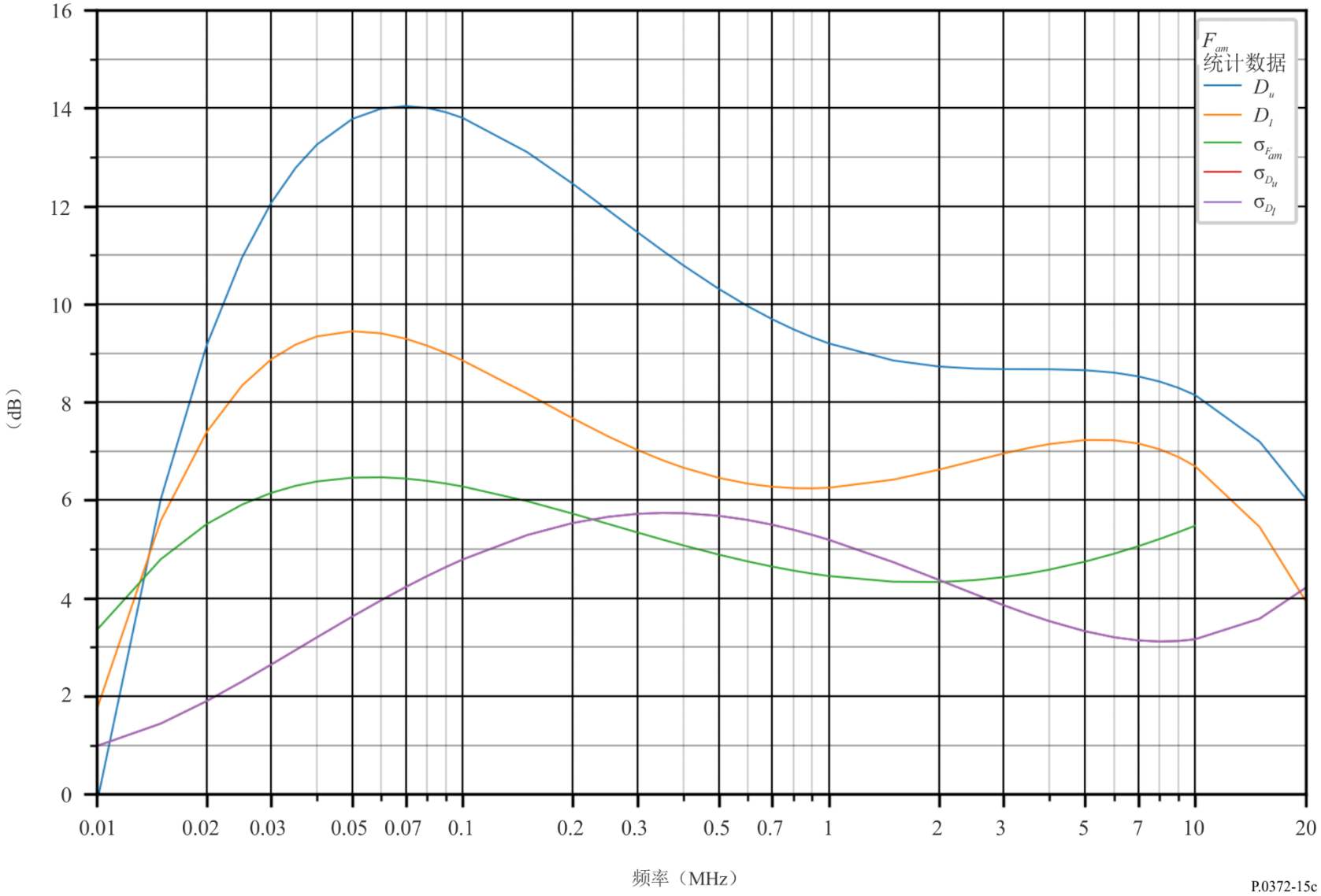
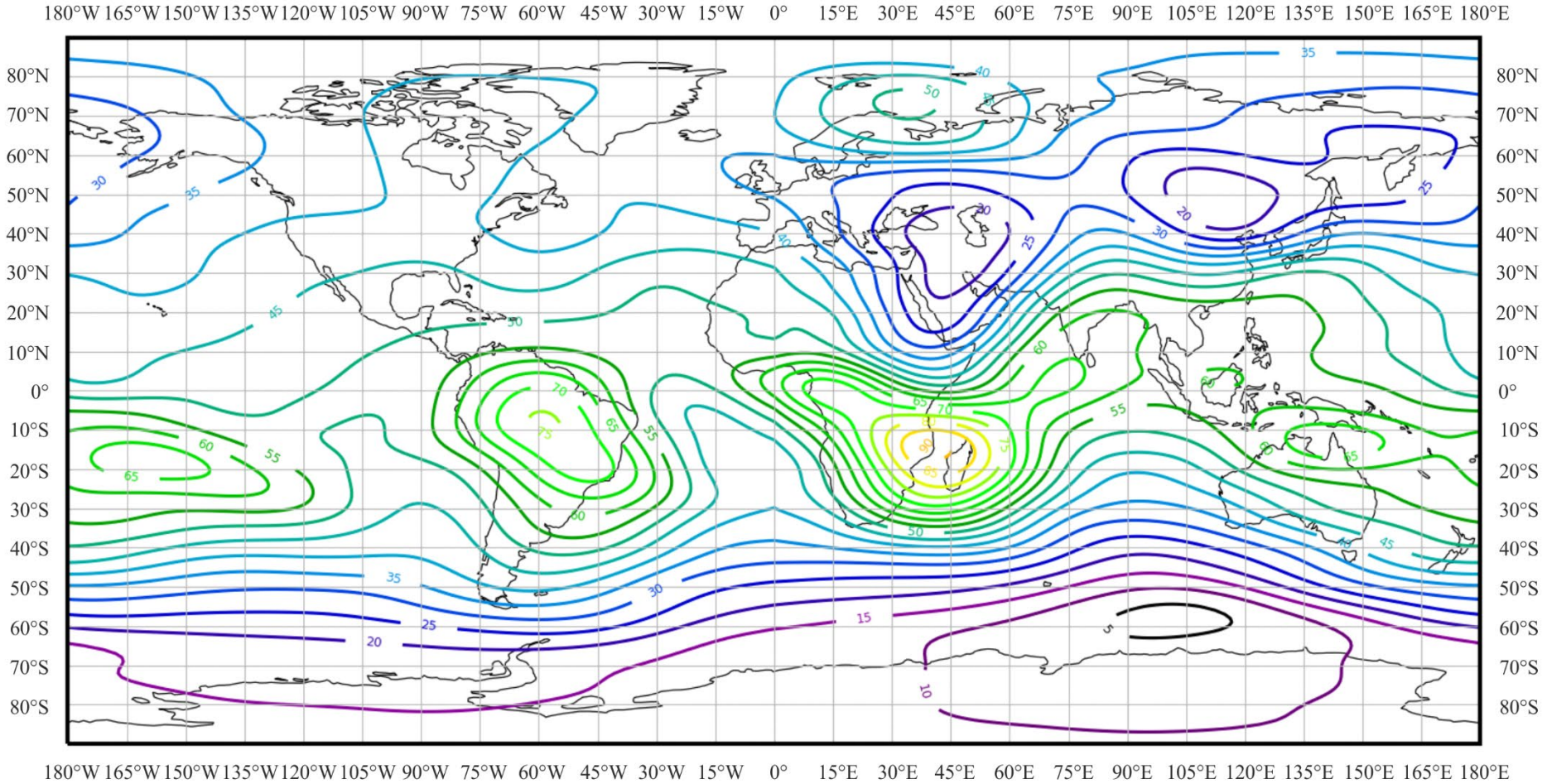


图16a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（12-1-2月；1200-1600 LT）



P.0372-16a

图16b

无线电噪声随频率的变化（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；1200-1600 LT）

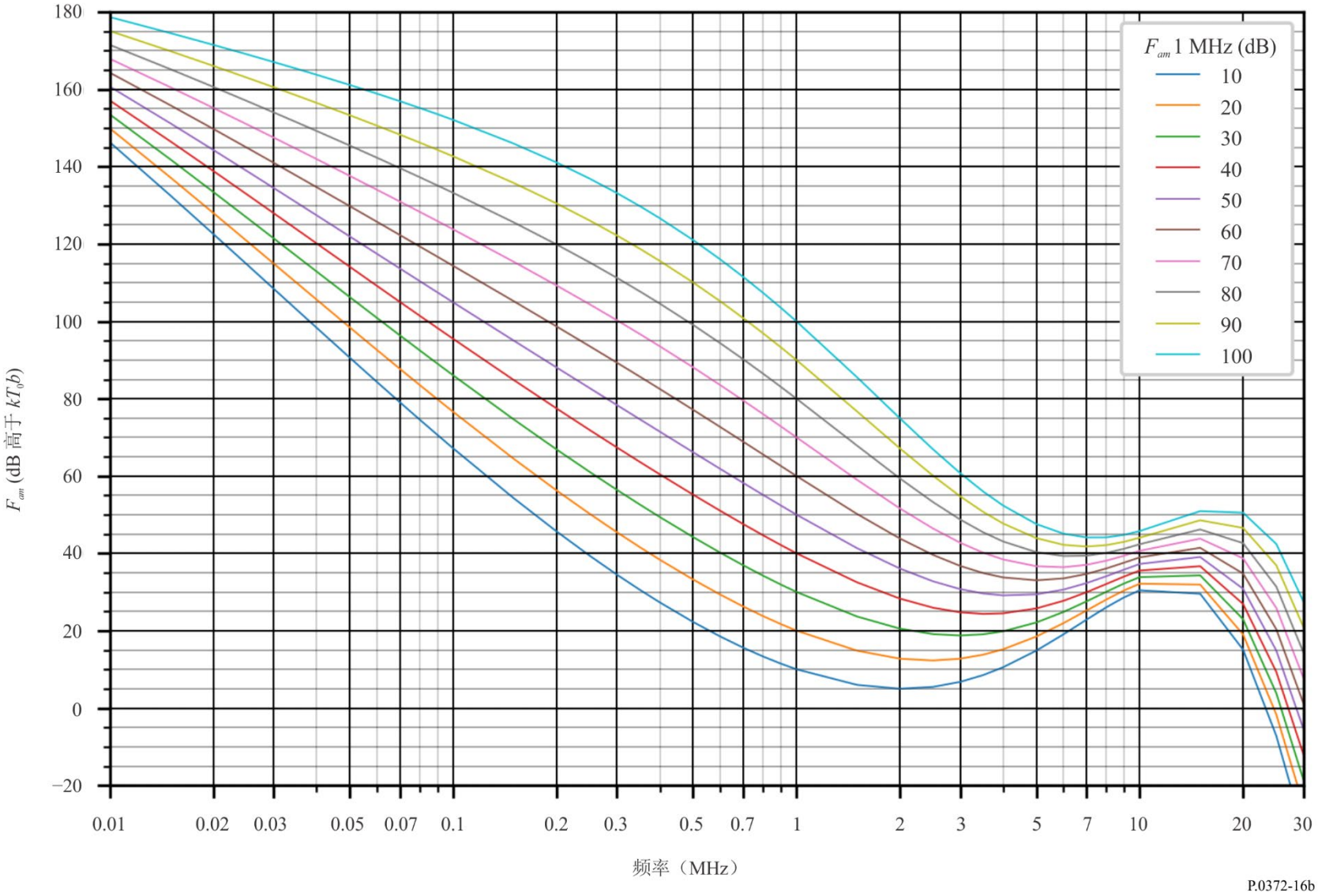


图16c

噪声可变性和特性数据（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；1200-1600 LT）

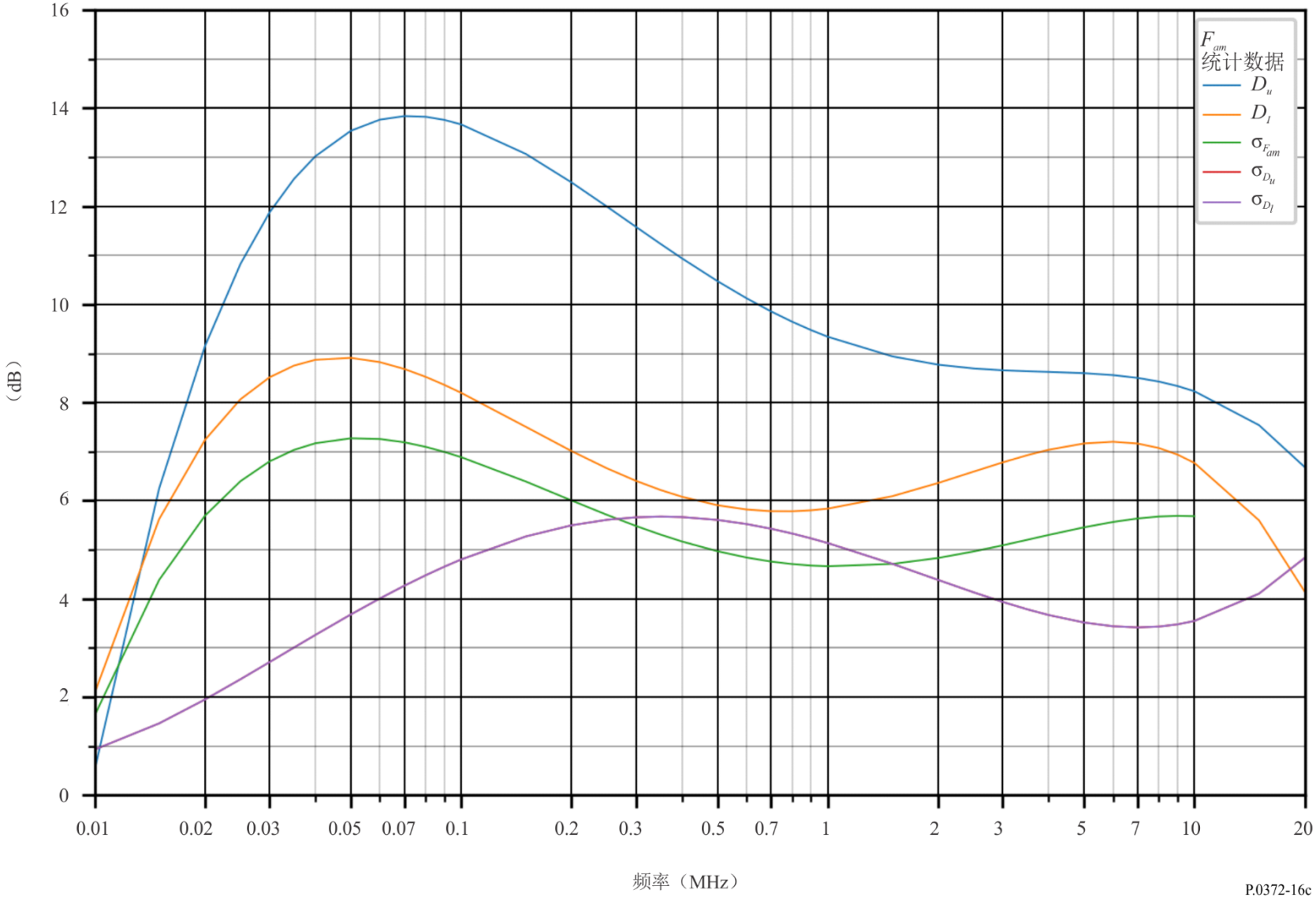
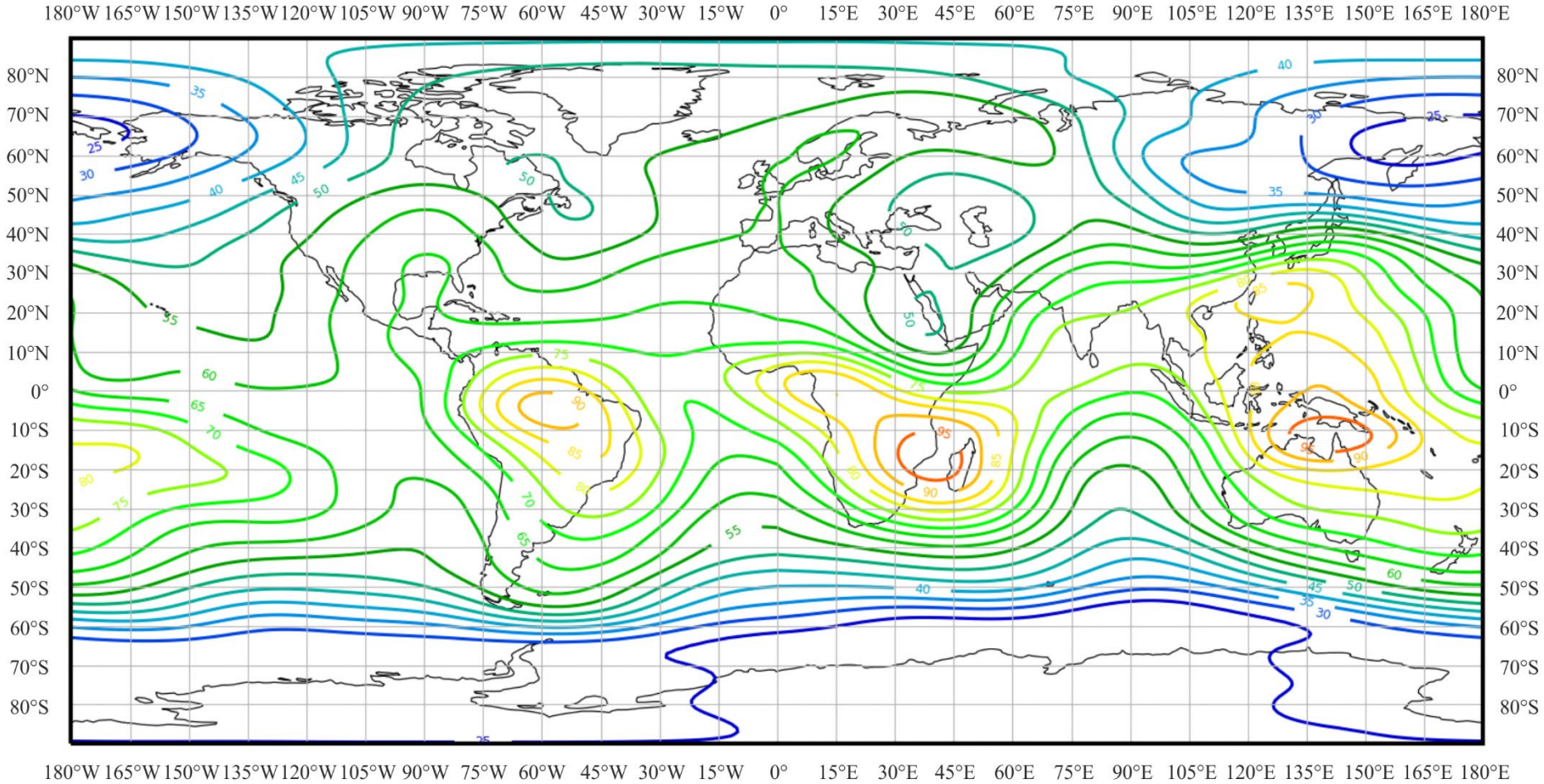


图17a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（12-1-2月；1600-2000 LT）



P.0372-17a

图17b

无线电噪声随频率的变化（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；1600-2000 LT）

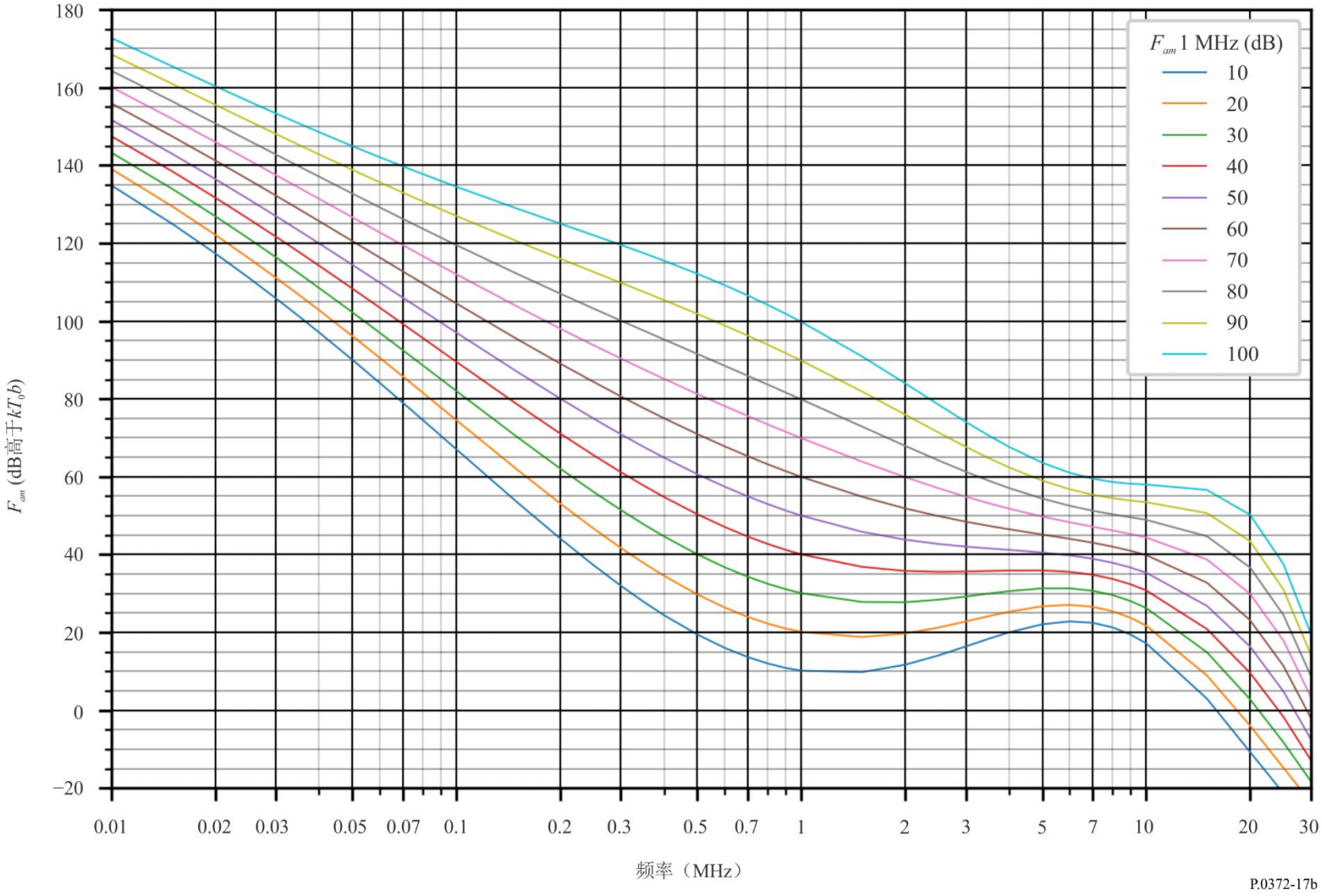


图17c

噪声可变性和特性数据（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；1600-2000 LT）

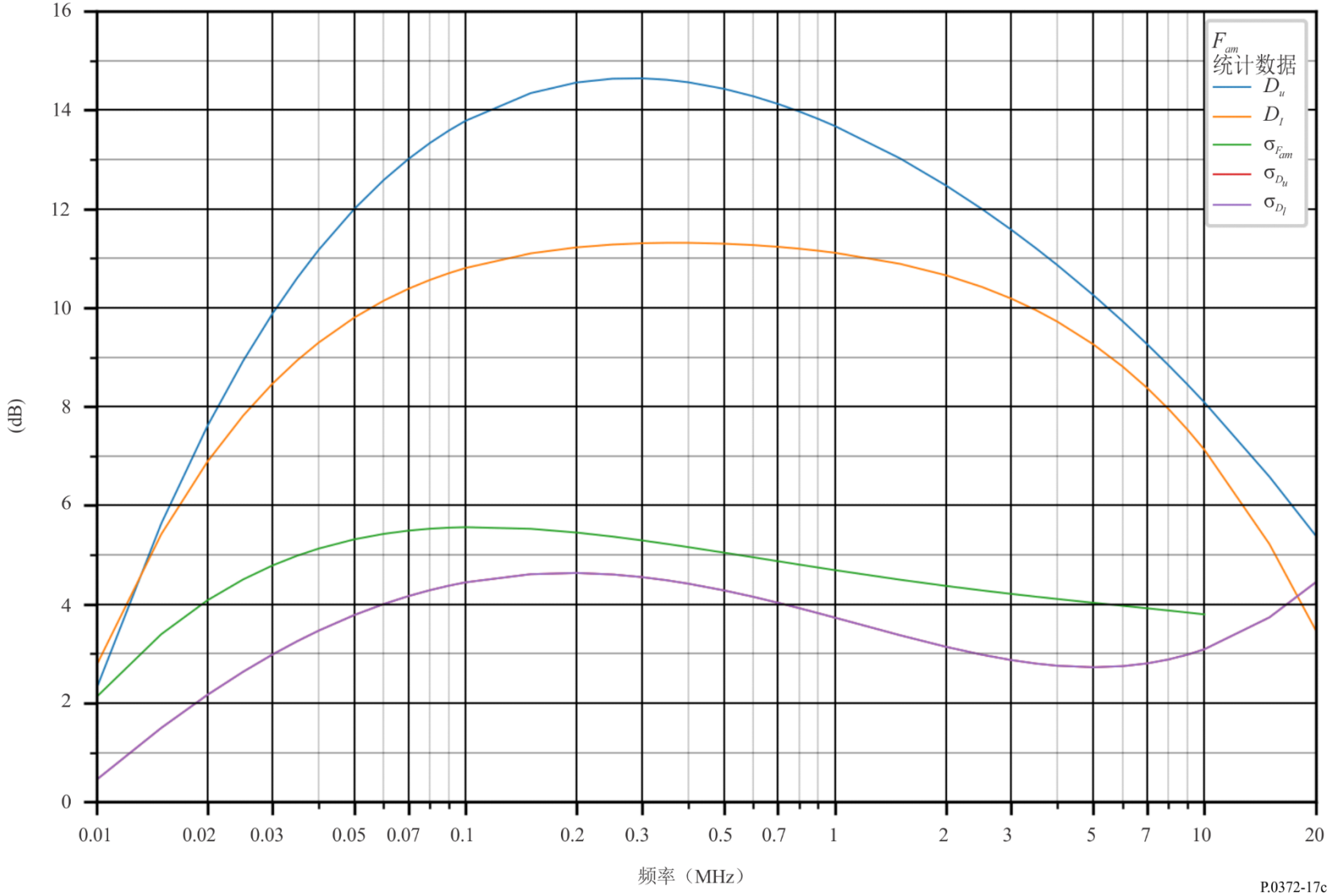
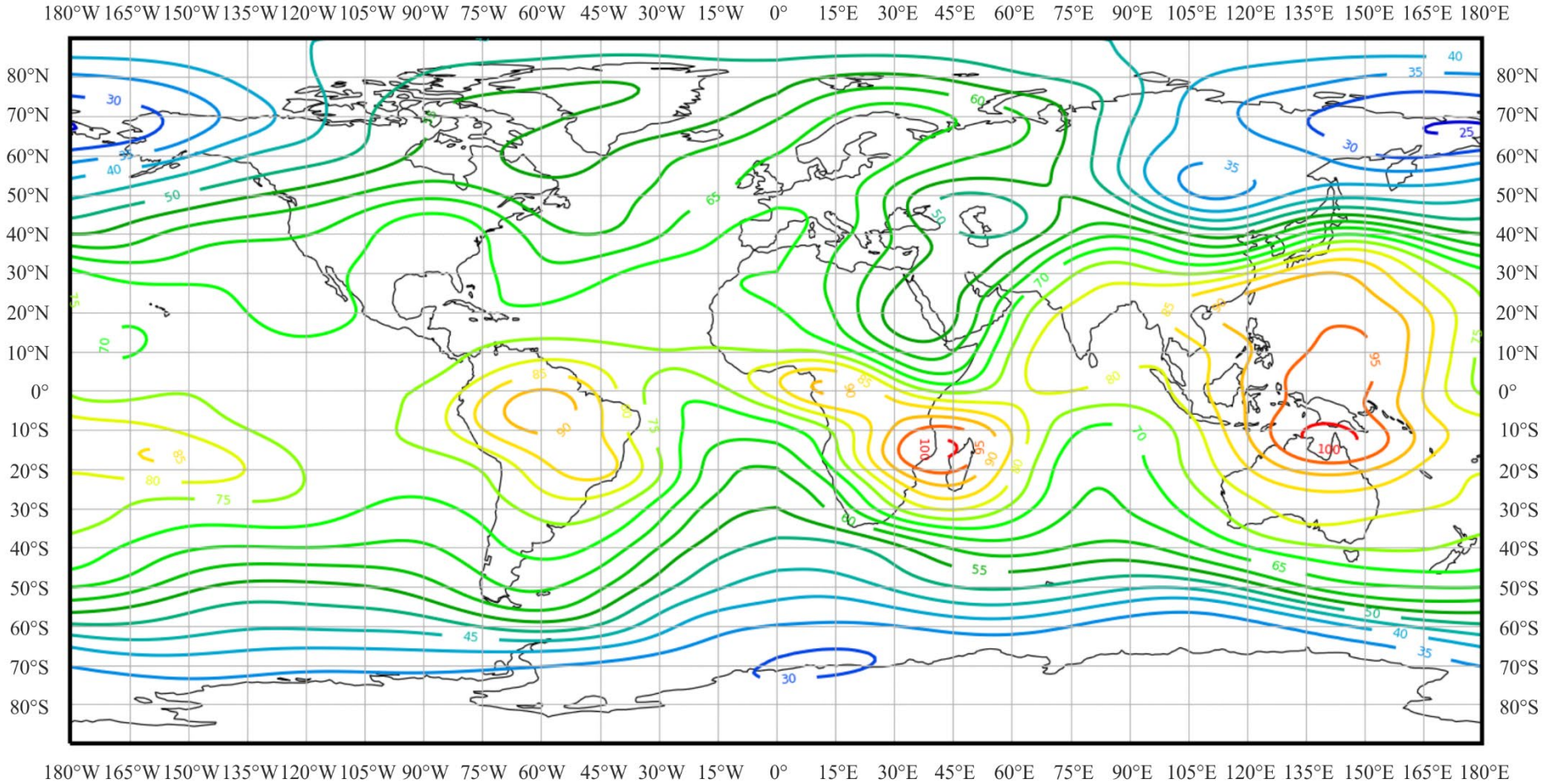


图18a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（12-1-2月；2000-2400 LT）



P.0372-18a

图18b

无线电噪声随频率的变化（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；2000-2400 LT）

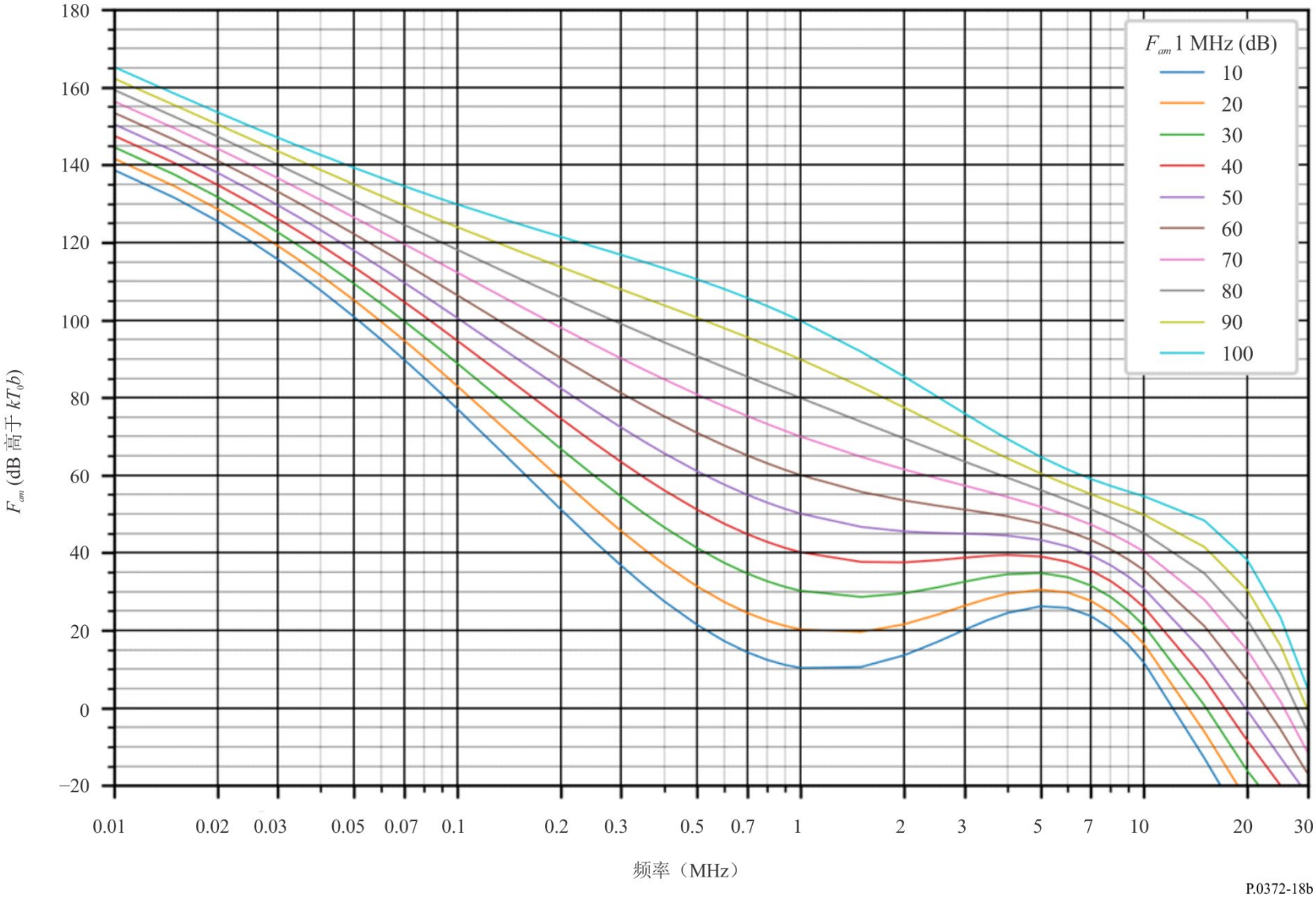


图18c

噪声可变性和特性数据（北半球：12-1-2月；南半球：6-7-8月；2000-2400 LT）

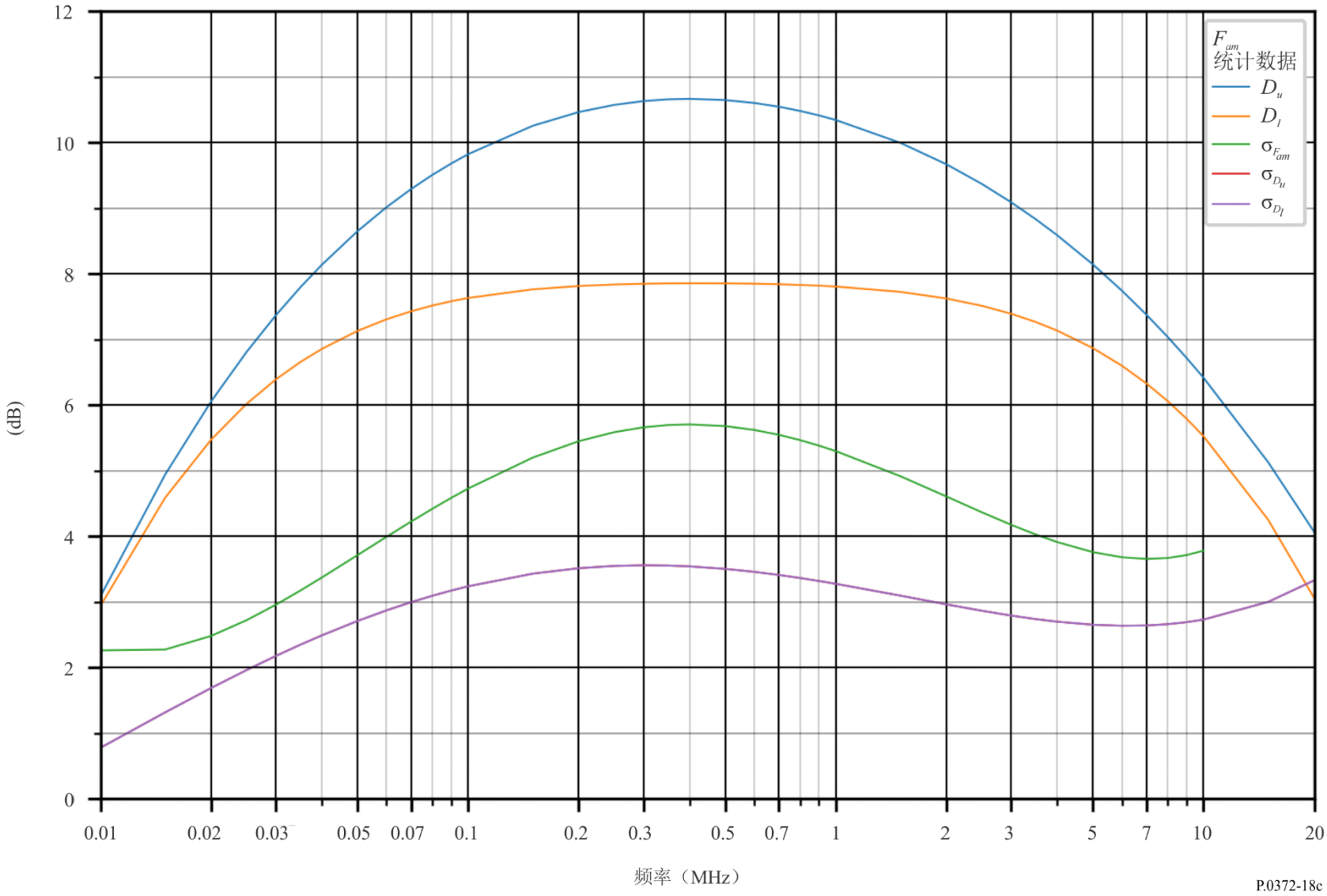
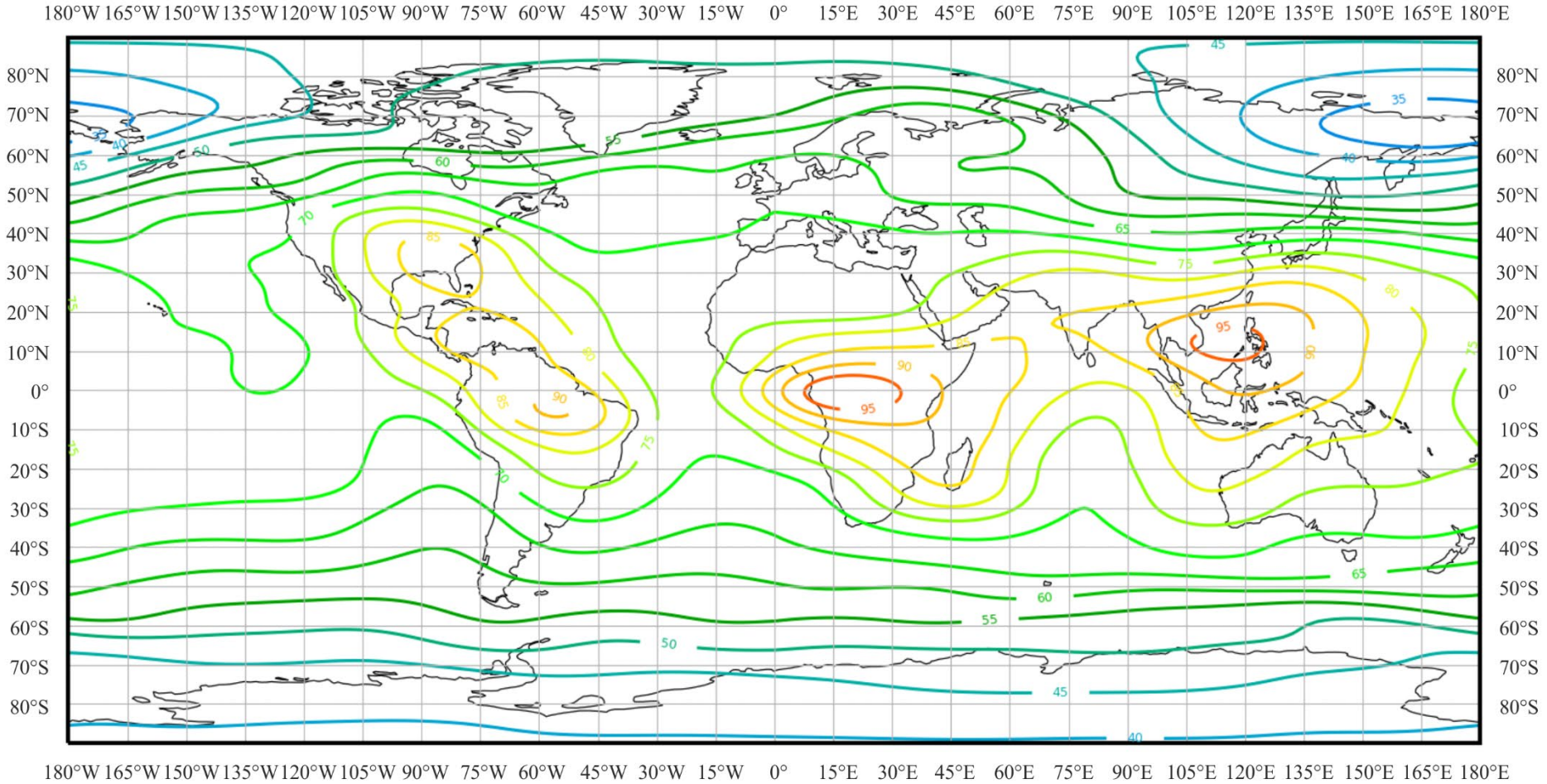


图19a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（3-4-5月；0000-0400 LT）



P.0372-19a

图19b

无线电噪声随频率的变化（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；0000-0400 LT）

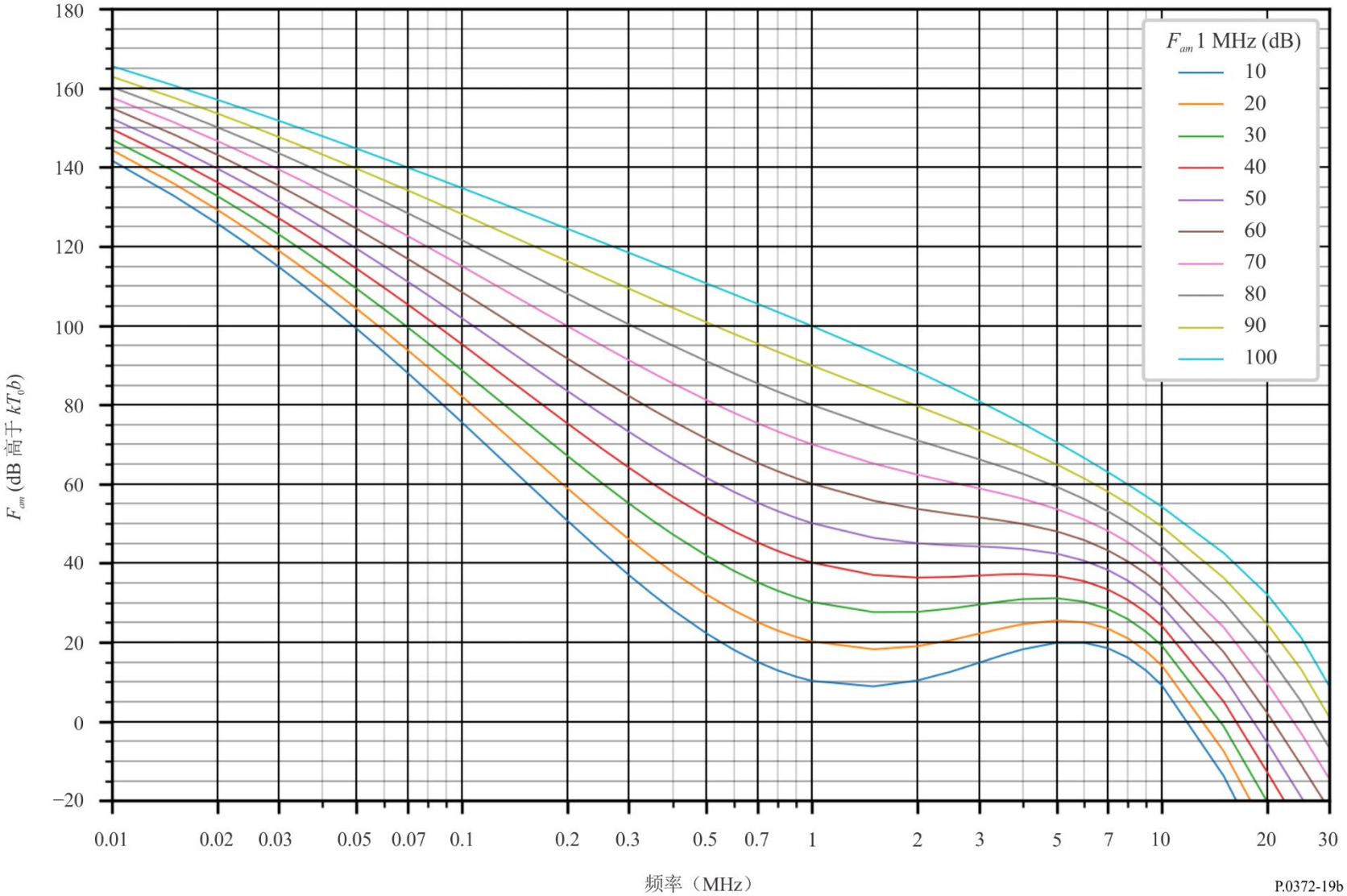


图19c

噪声可变性和特性数据（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；0000-0400 LT）

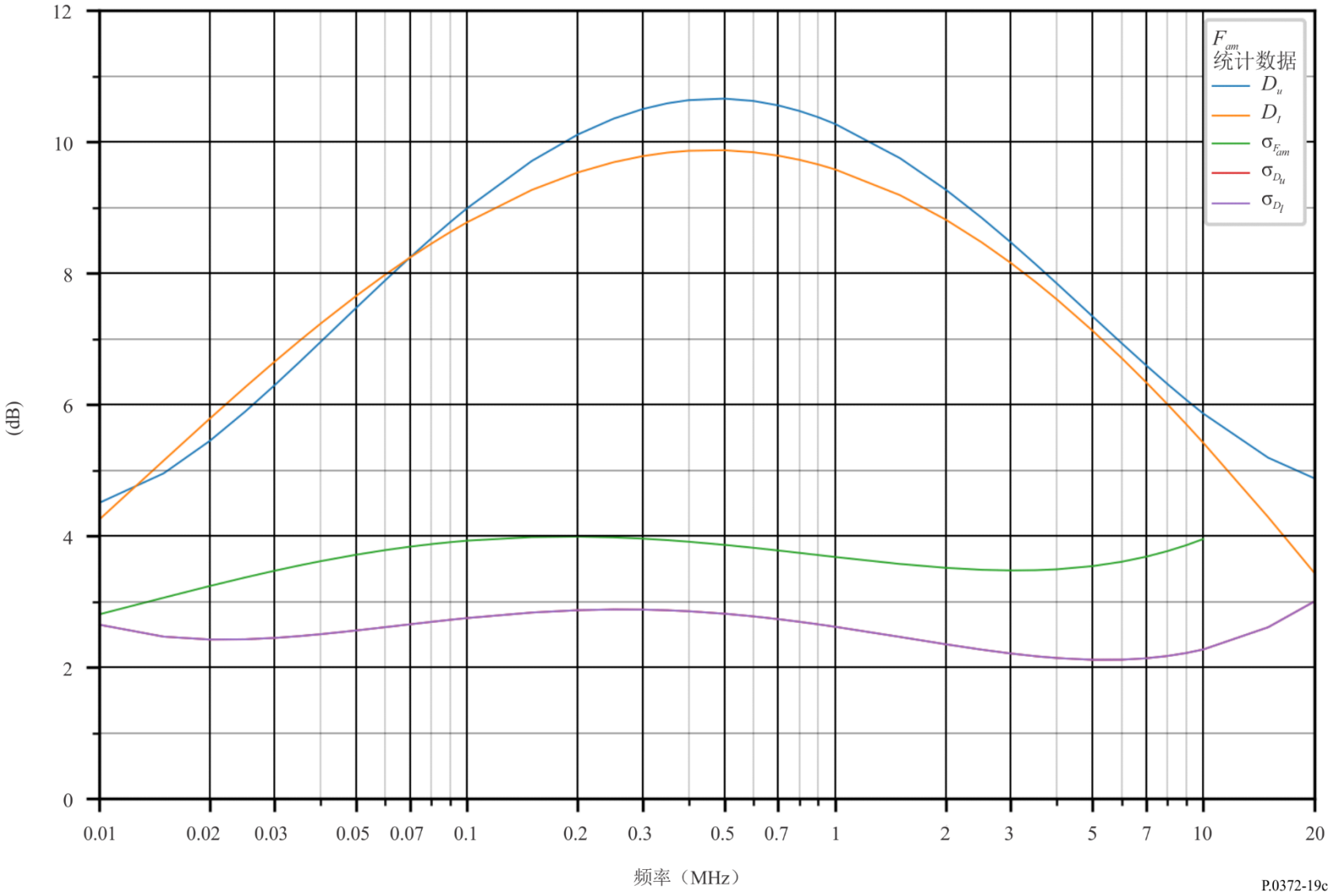
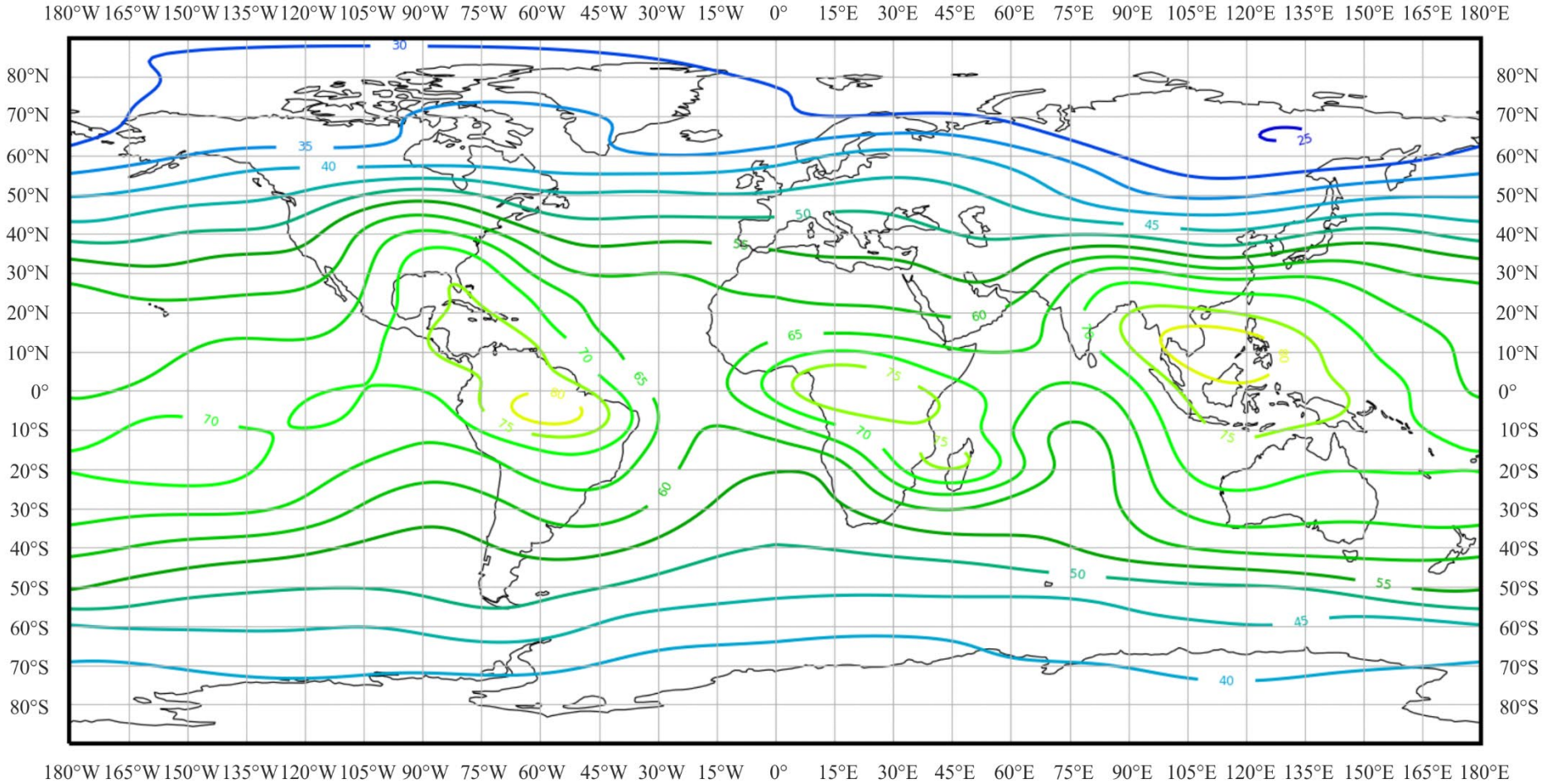


图20a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（3-4-5月；0400-0800 LT）



P.0372-20a

图20b

无线电噪声随频率的变化（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；0400-0800 LT）

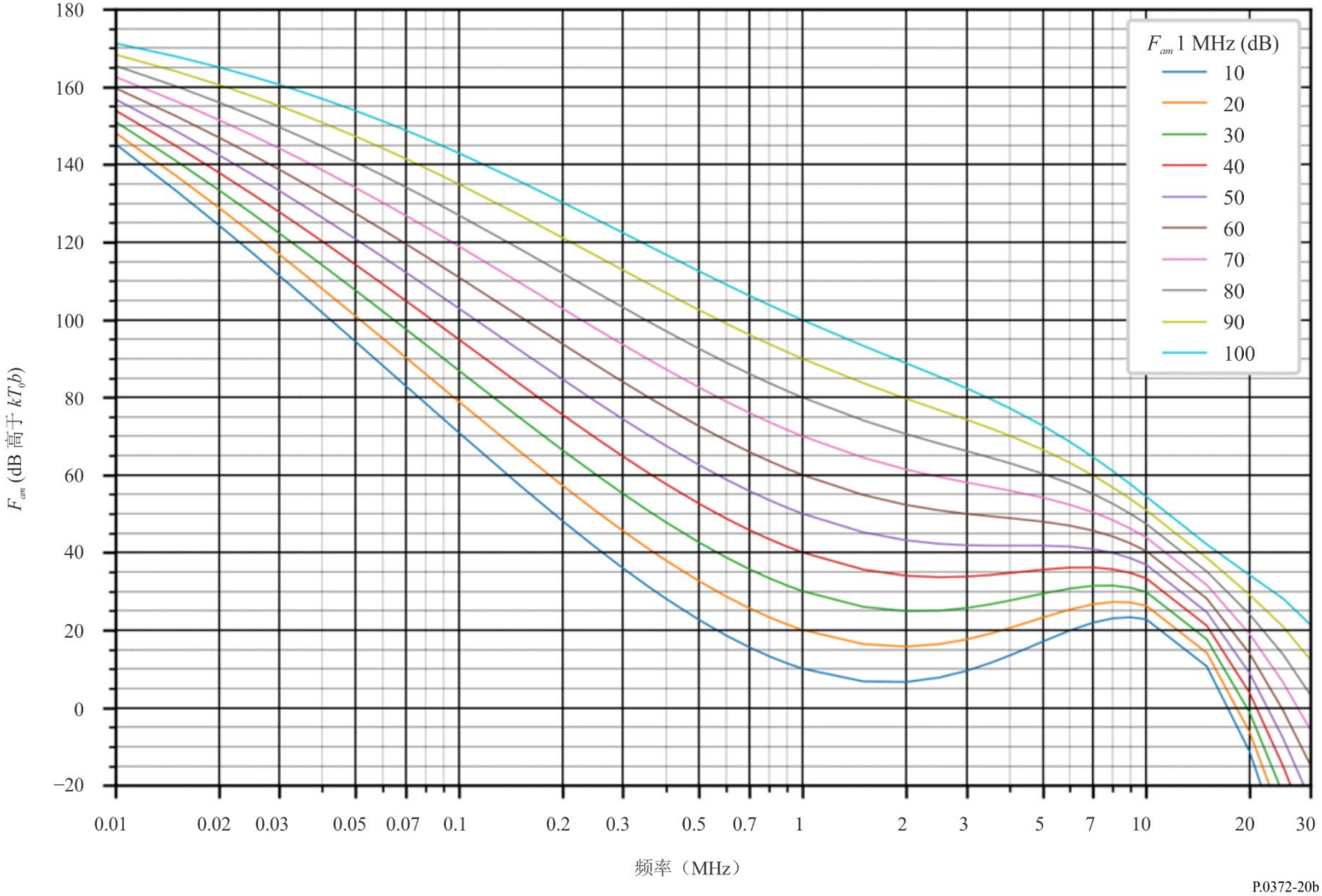


图20c

噪声可变性和特性数据（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；0400-0800 LT）

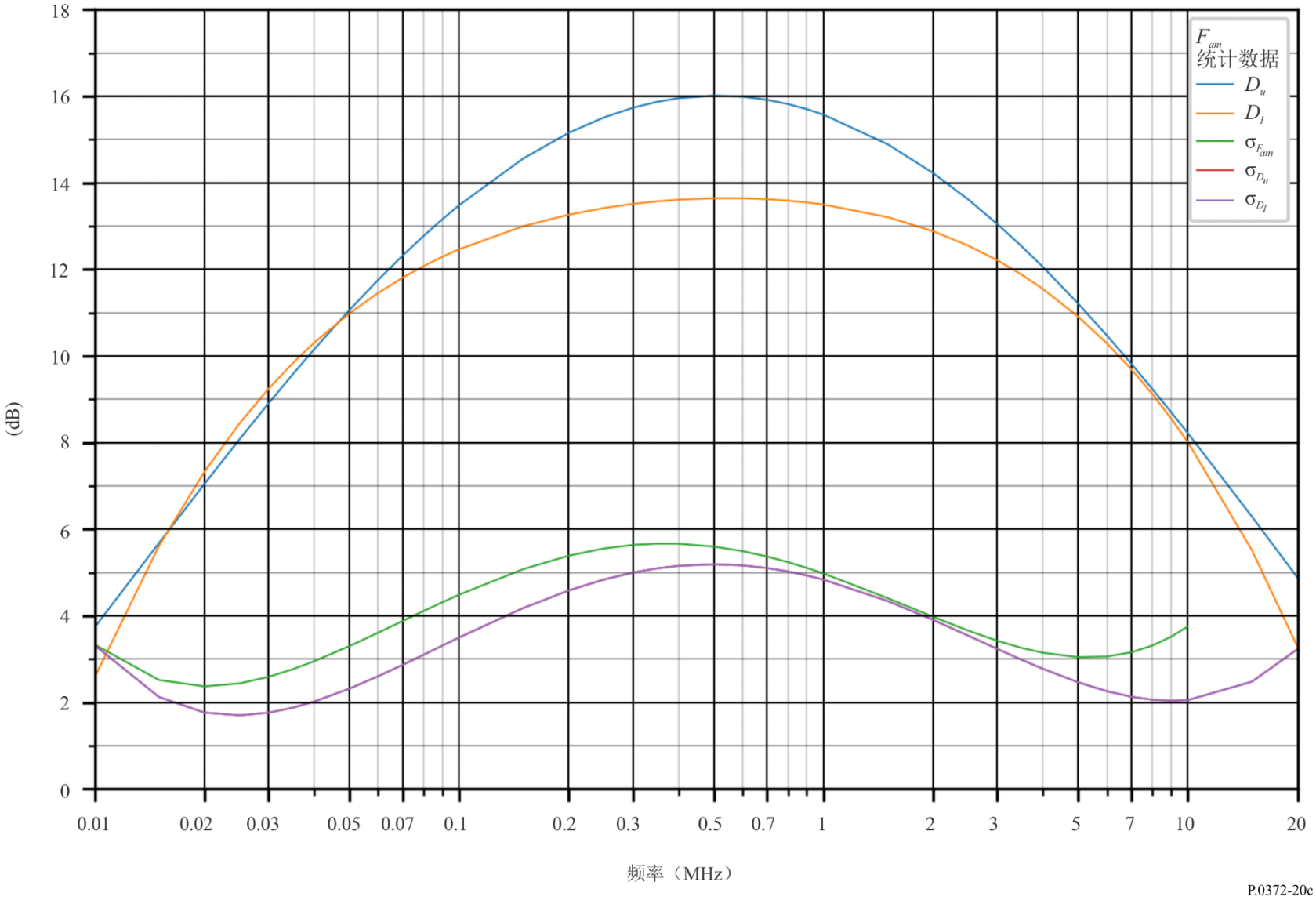
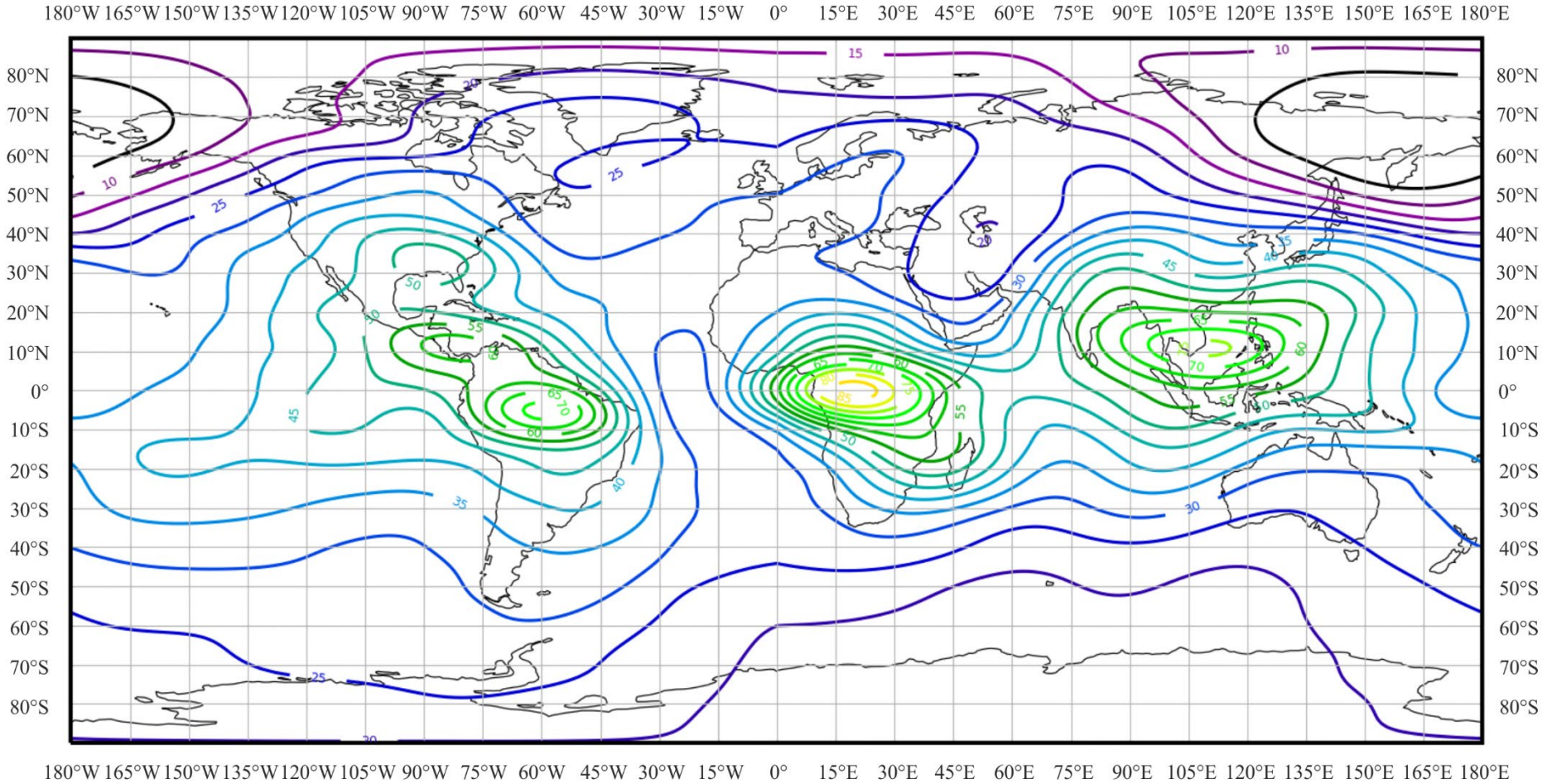


图21a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（3-4-5月；0800-1200 LT）



P.0372-21a

图21b

无线电噪声随频率的变化（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；0800-1200 LT）

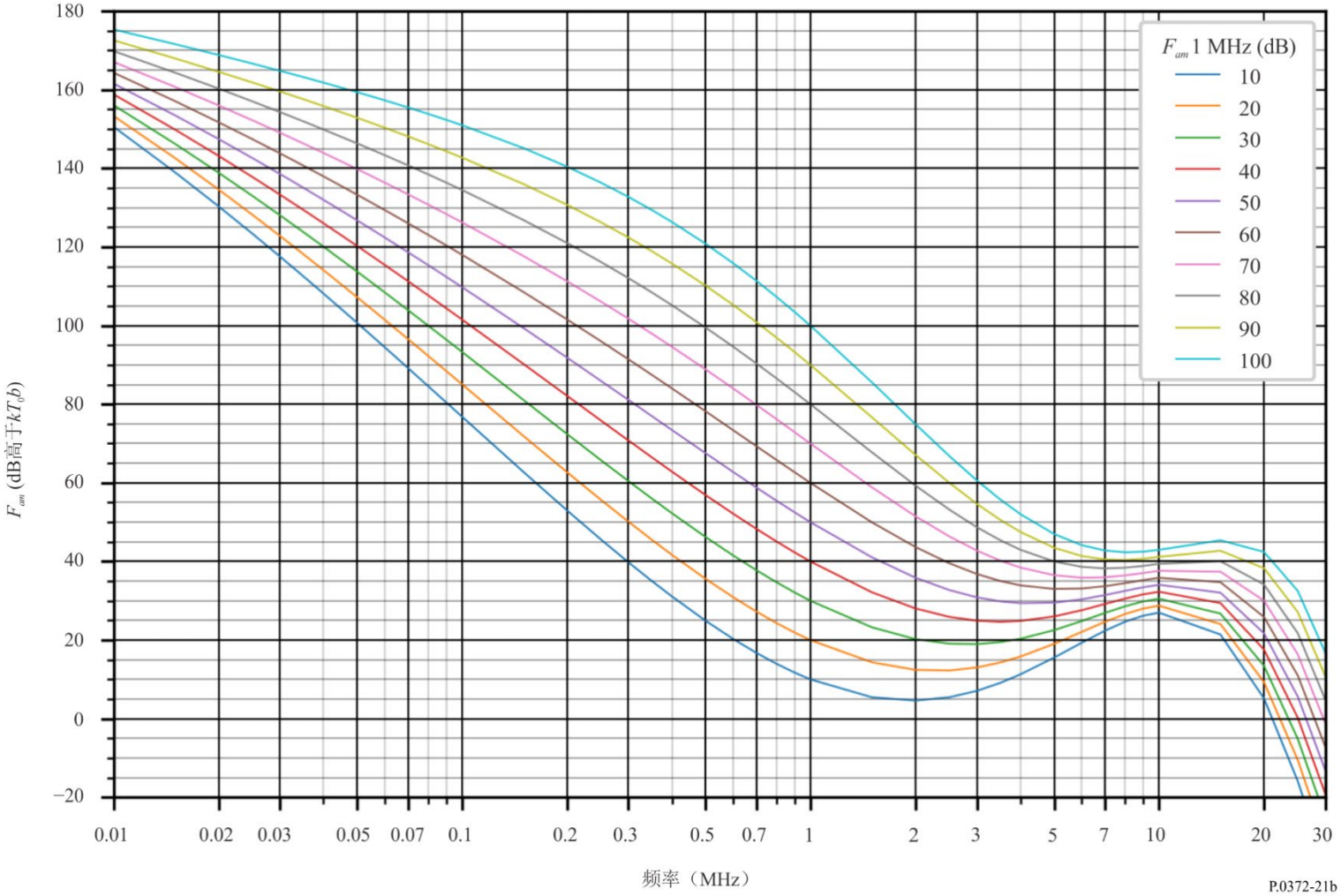


图21c

噪声可变性和特性数据（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；0800-1200 LT）

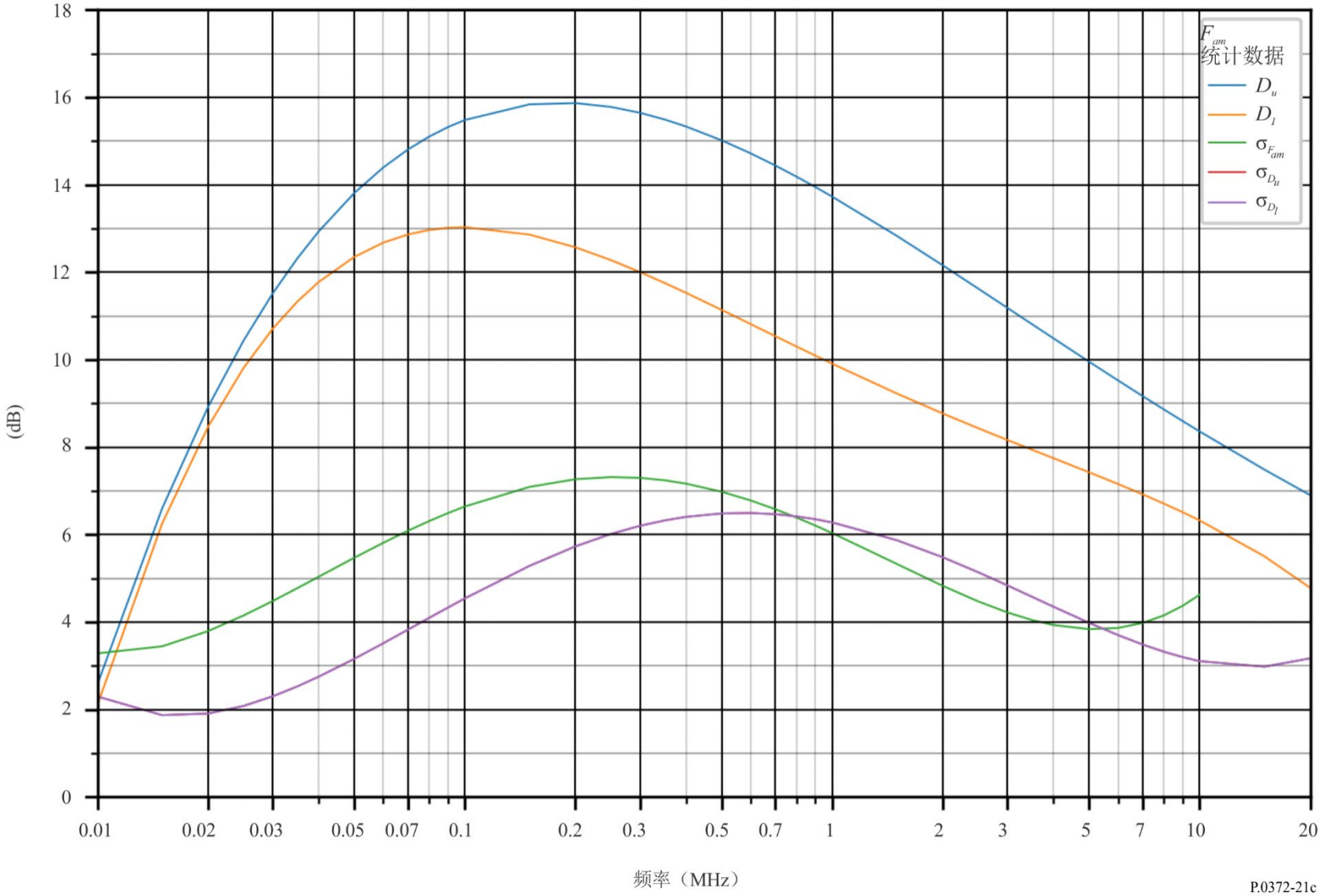
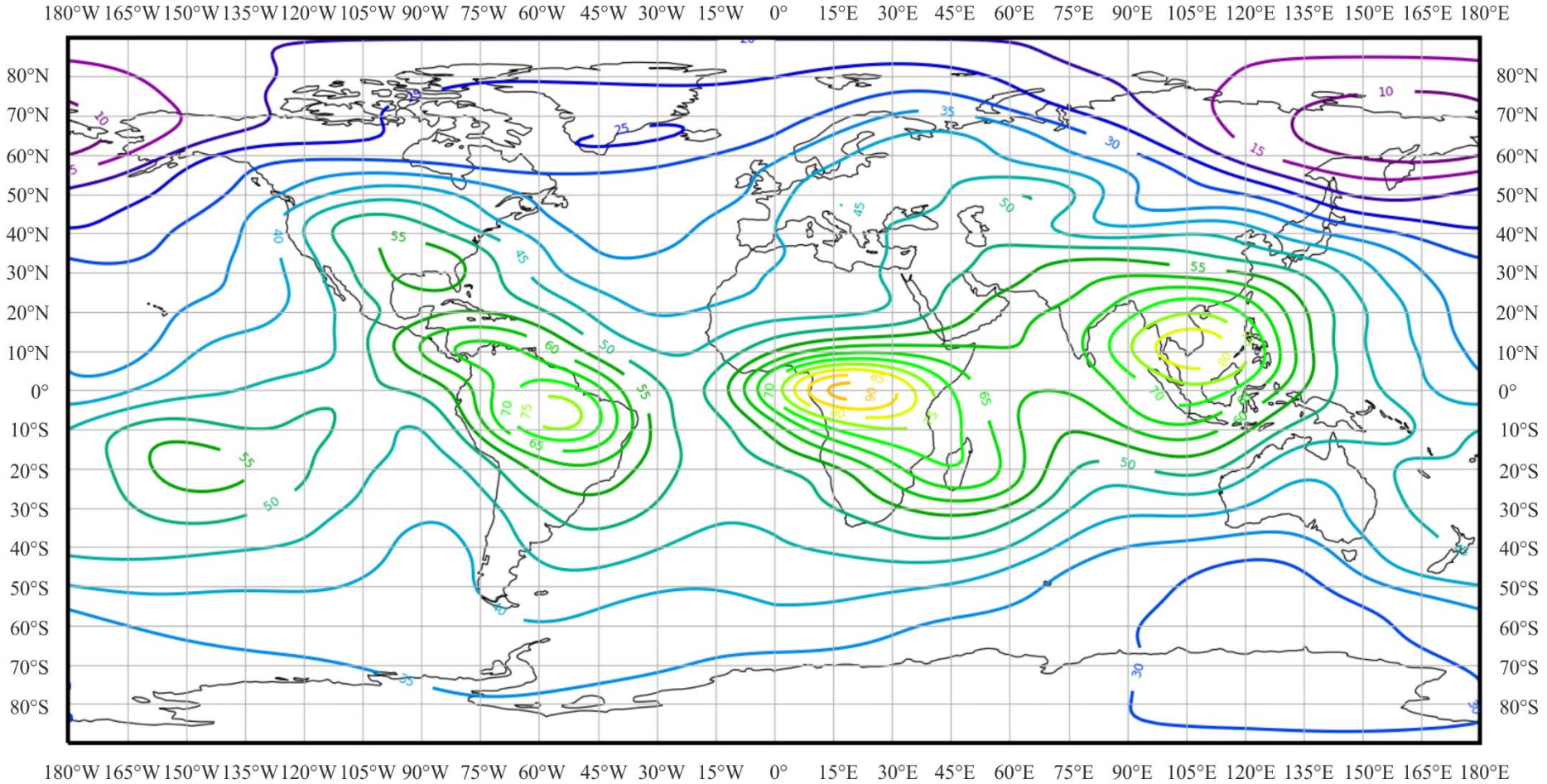


图22a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（3-4-5月；1200-1600 LT）



P.0372-22a

图22b

无线电噪声随频率的变化（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；1200-1600 LT）

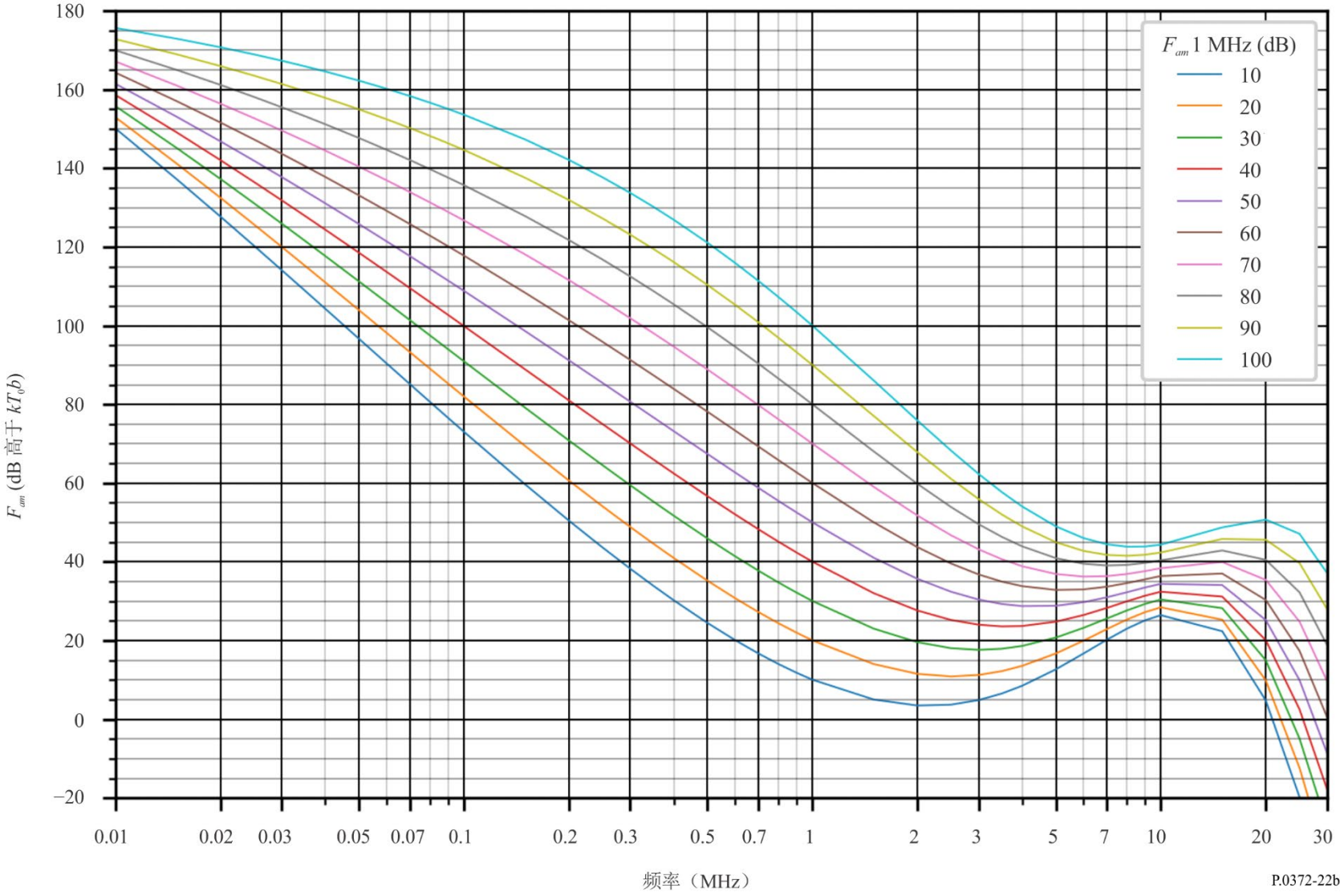


图22c

噪声可变性和特性数据（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；1200-1600 LT）

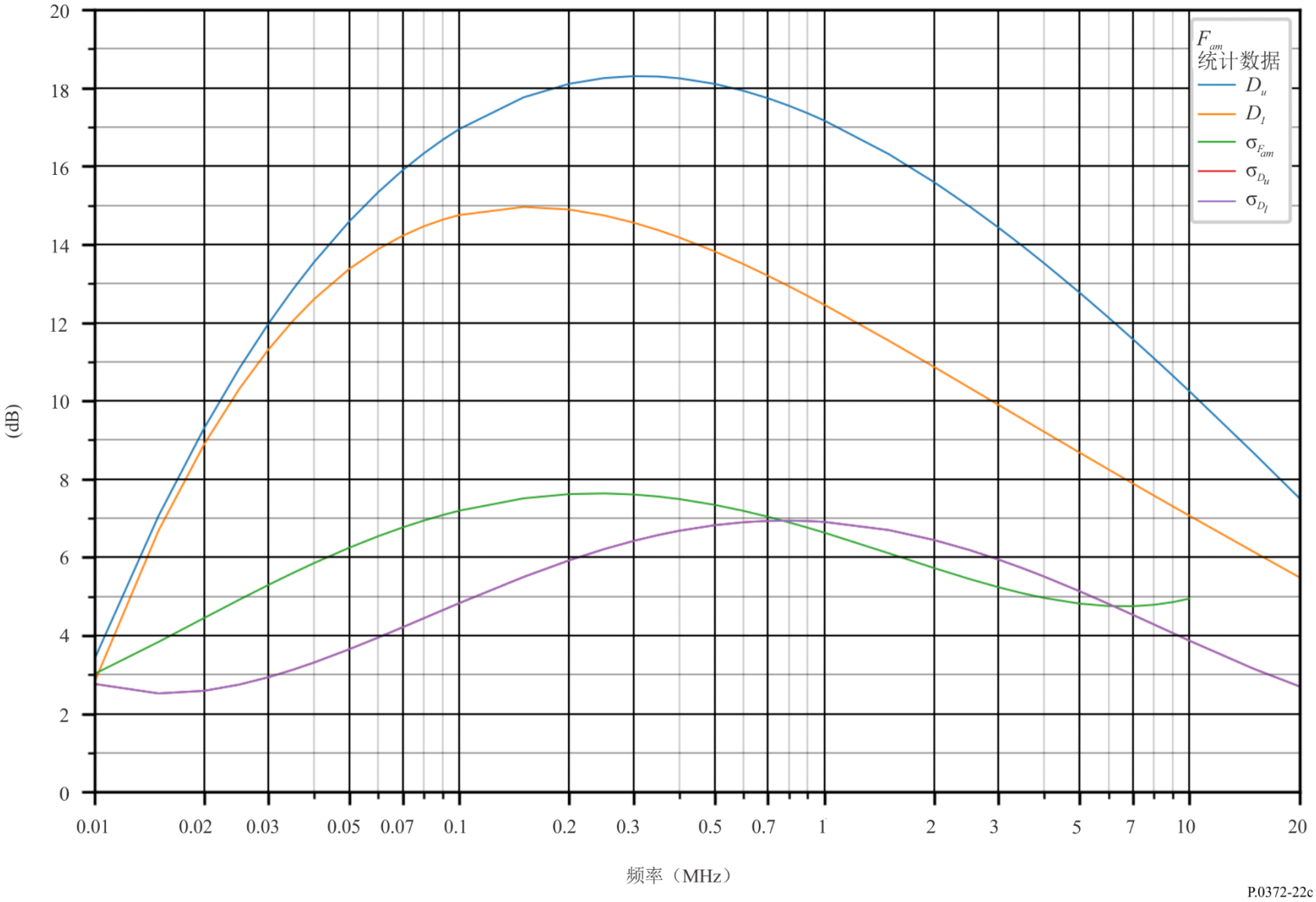
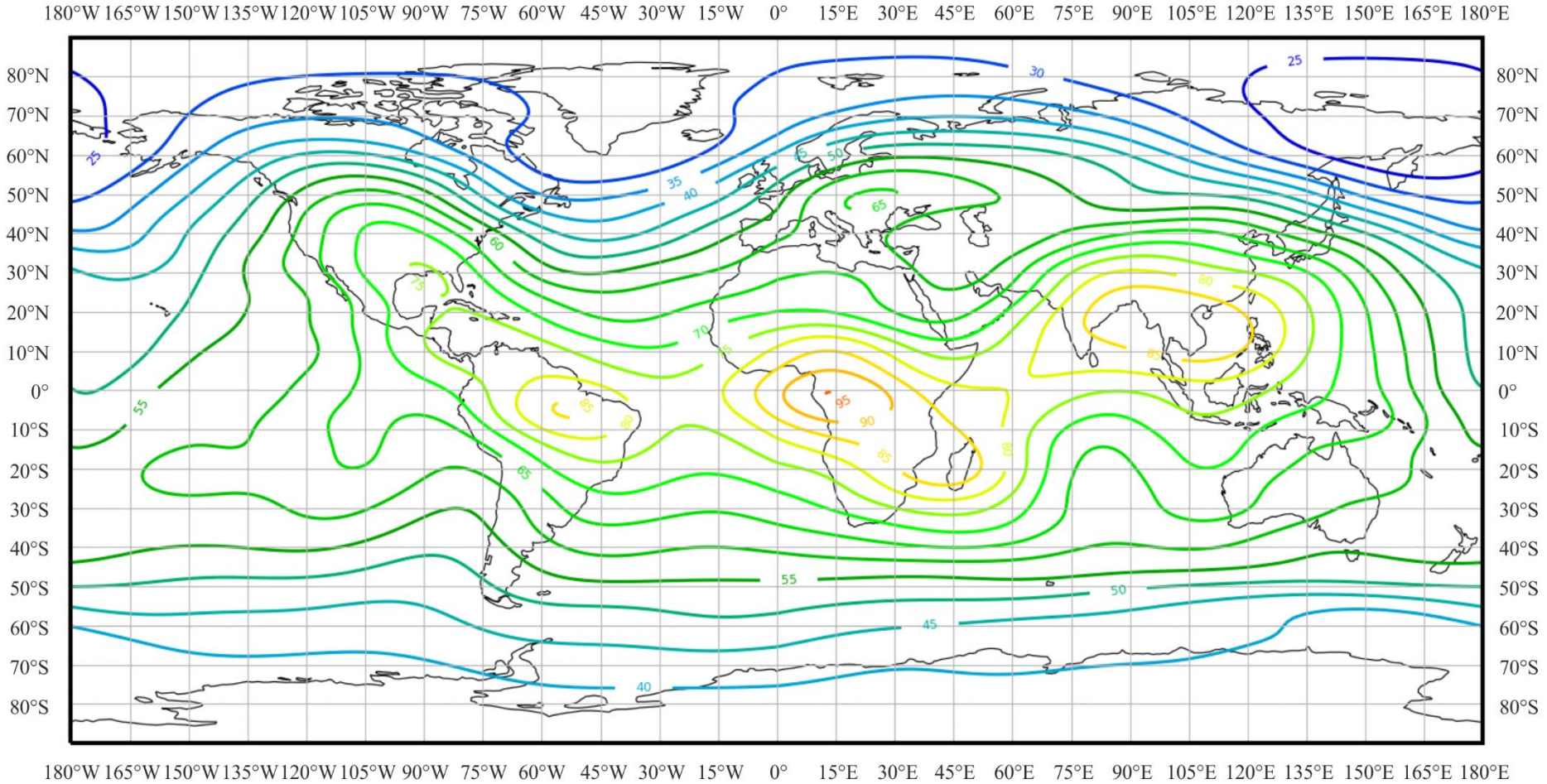


图23a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（3-4-5月；1600-2000 LT）



P.0372-23a

图23b

无线电噪声随频率的变化（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；1600-2000 LT）

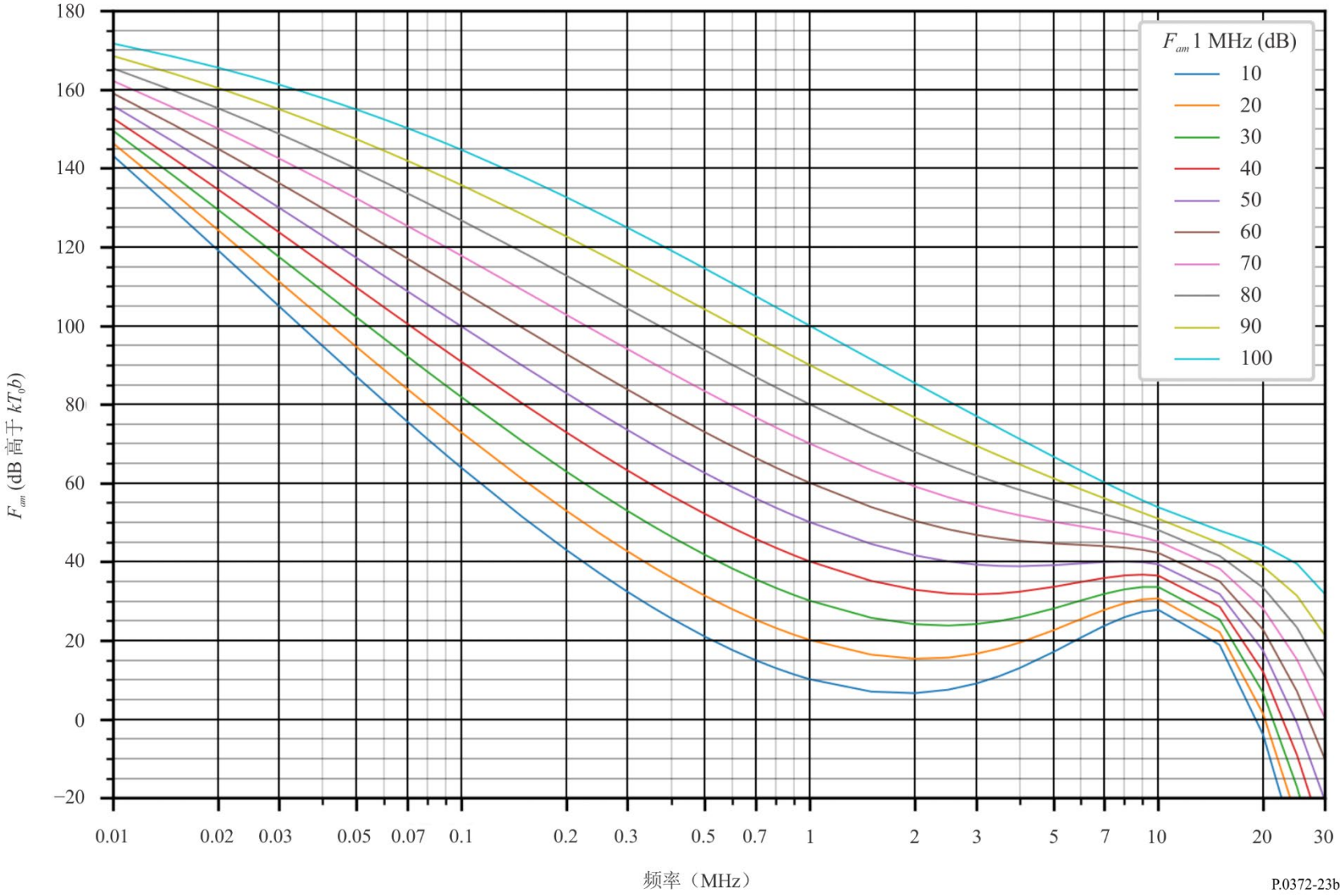


图23c

噪声可变性和特性数据（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；1600-2000 LT）

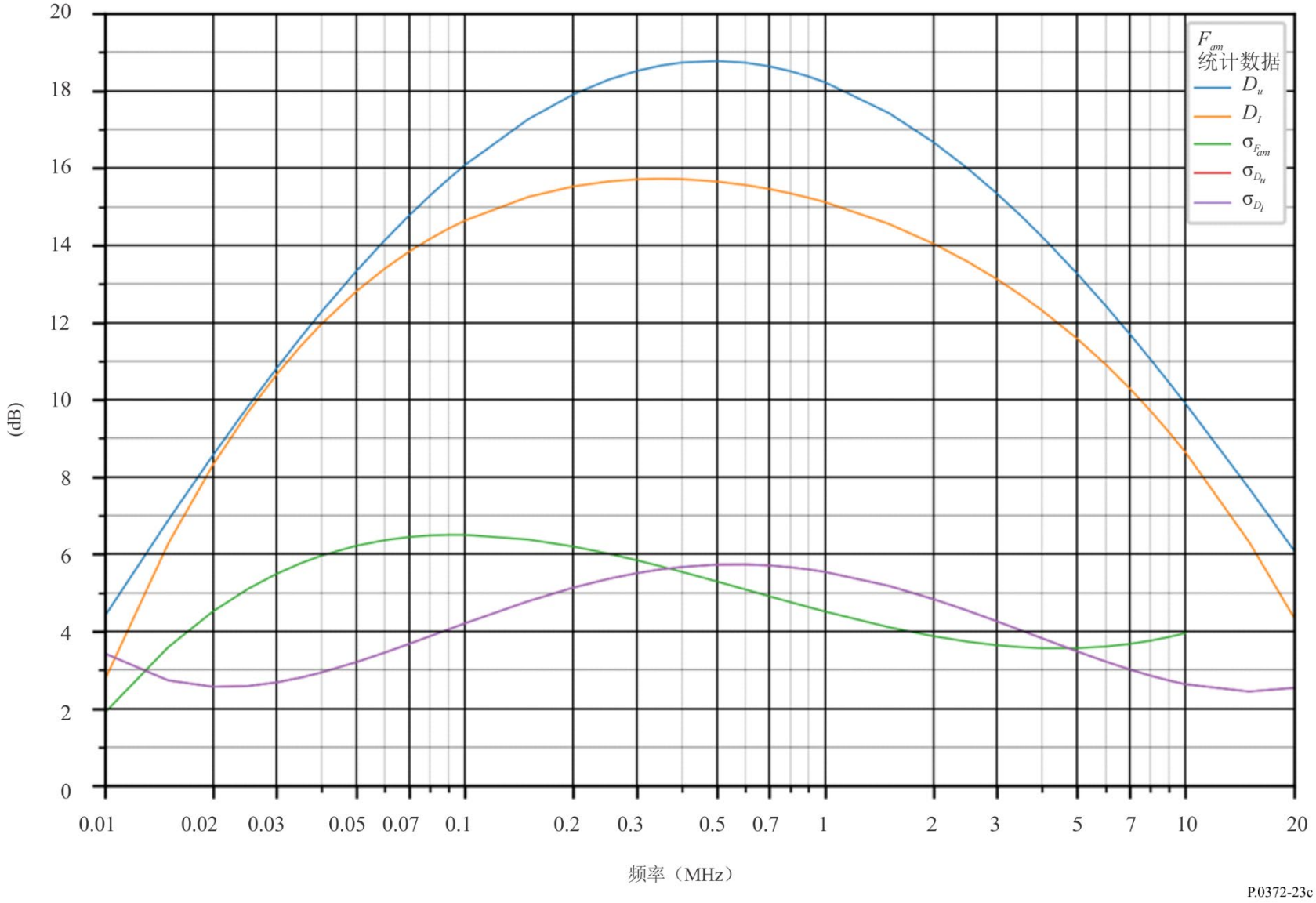


图24a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（3-4-5月；2000-2400 LT）

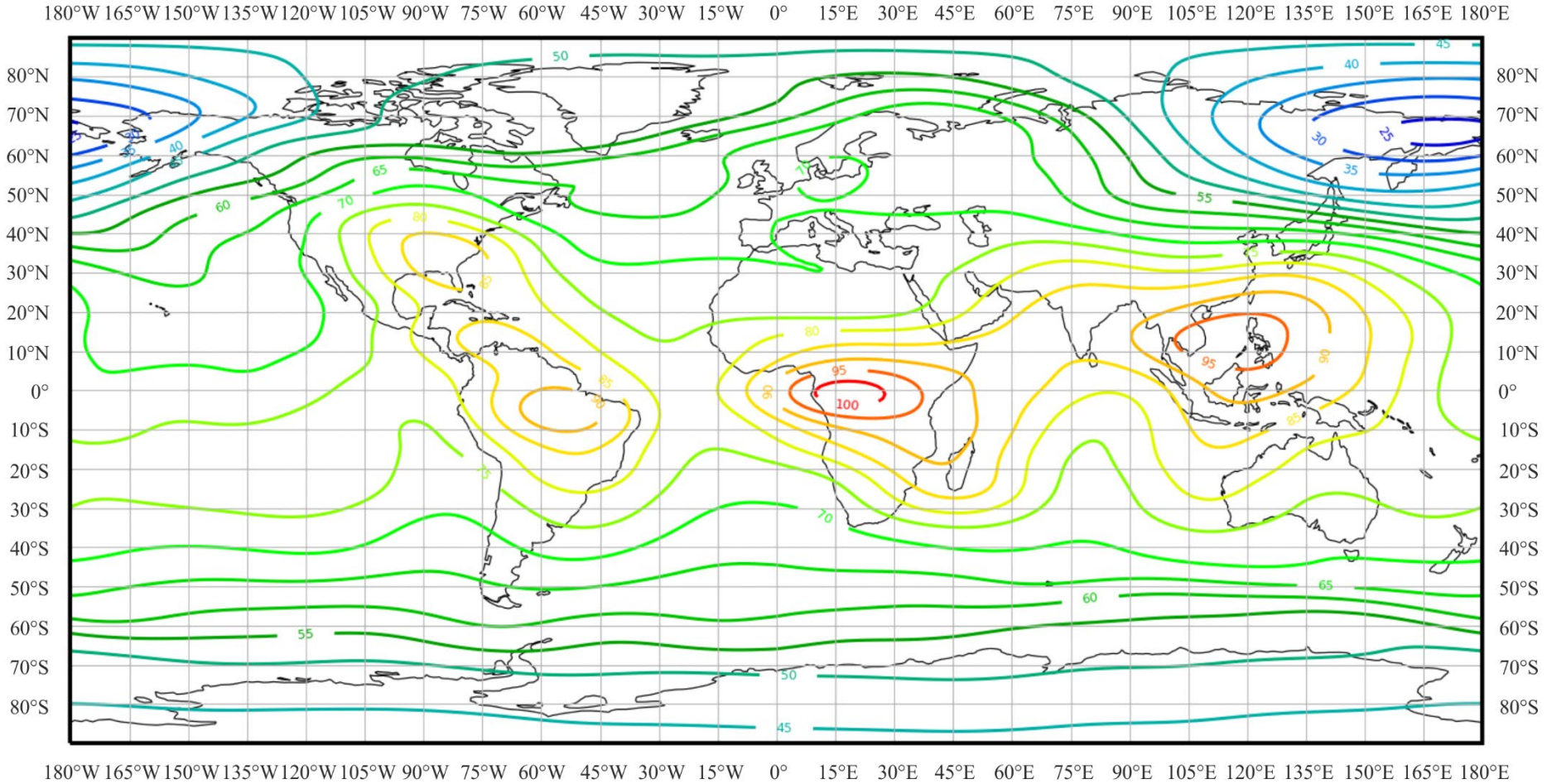


图24b

无线电噪声随频率的变化（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；2000-2400 LT）

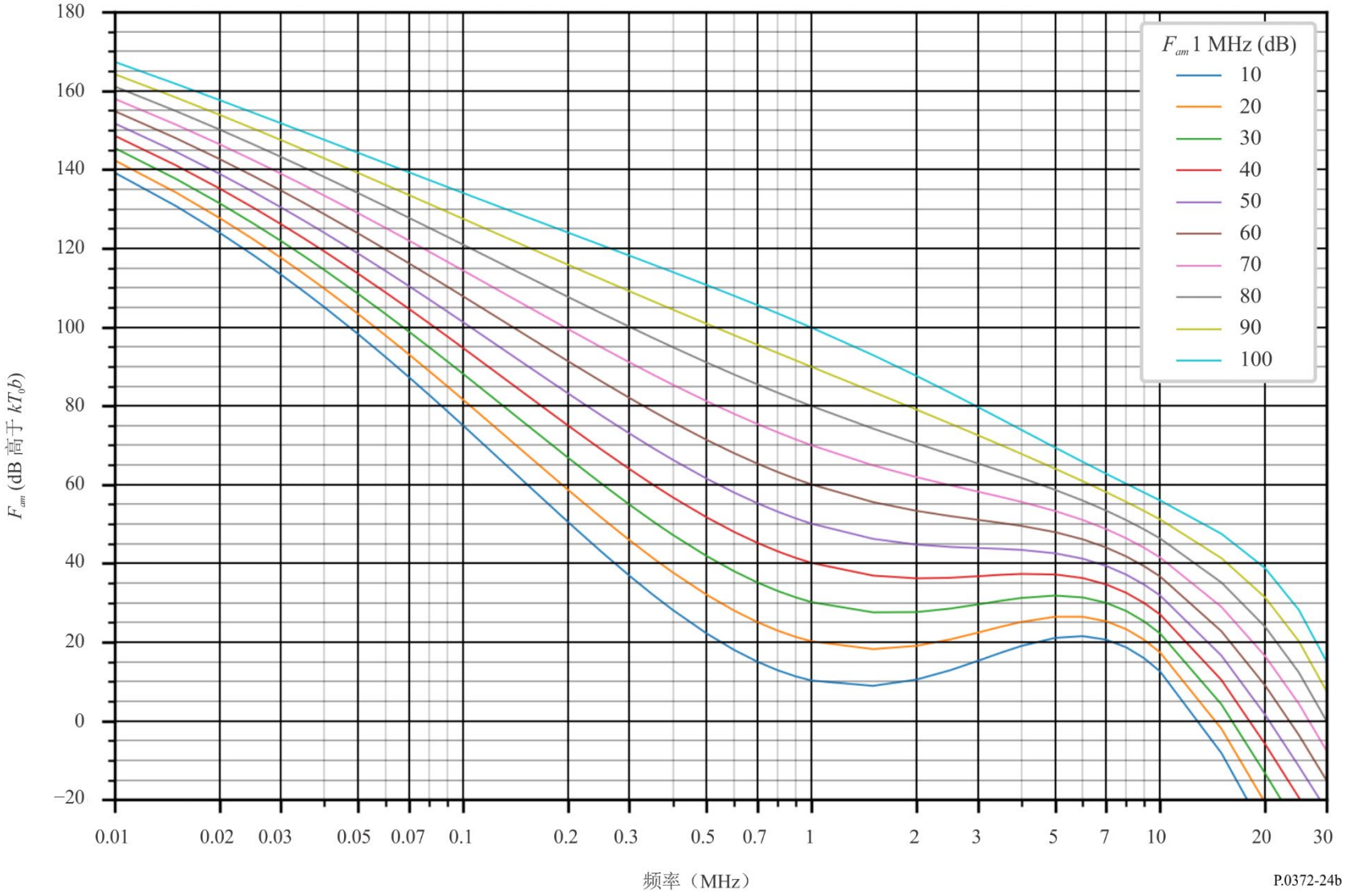


图24c

噪声可变性和特性数据（北半球：3-4-5月；南半球：9-10-11月；2000-2400 LT）

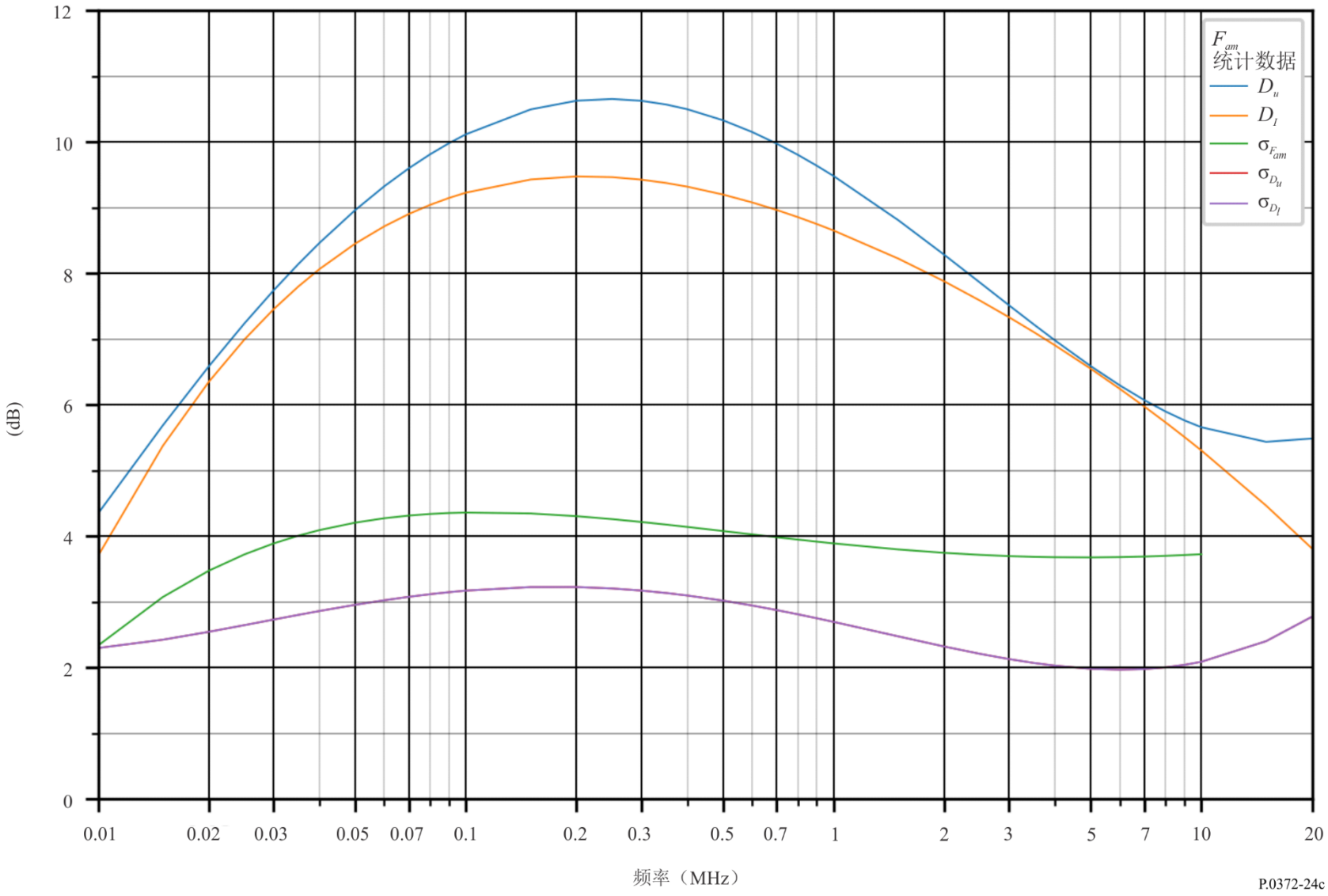
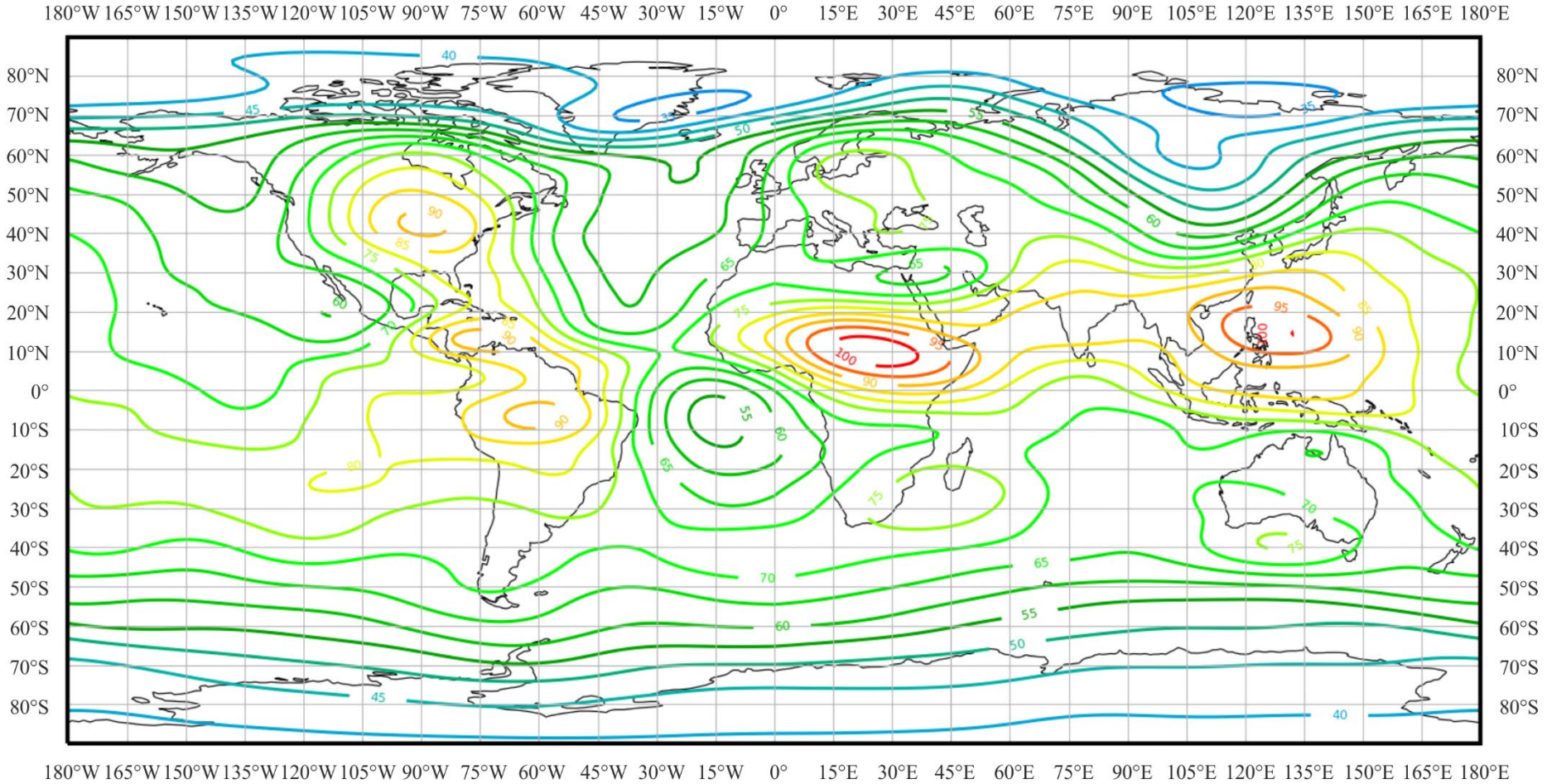


图25a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（6-7-8月；0000-0400 LT）



P.0372-25a

图25b

无线电噪声随频率的变化（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；0000-0400 LT）

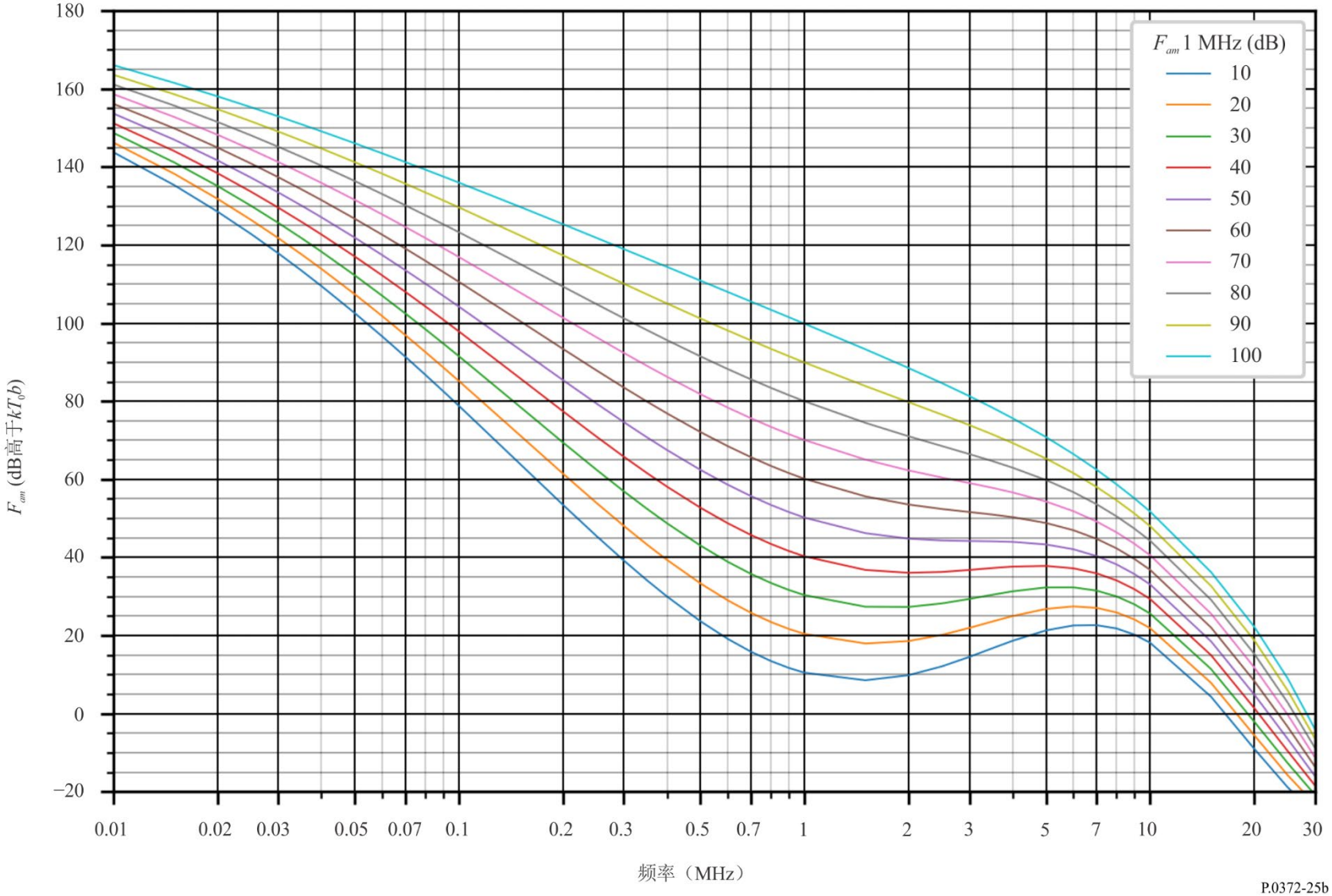


图25c

噪声可变性和特性数据（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；0000-0400 LT）

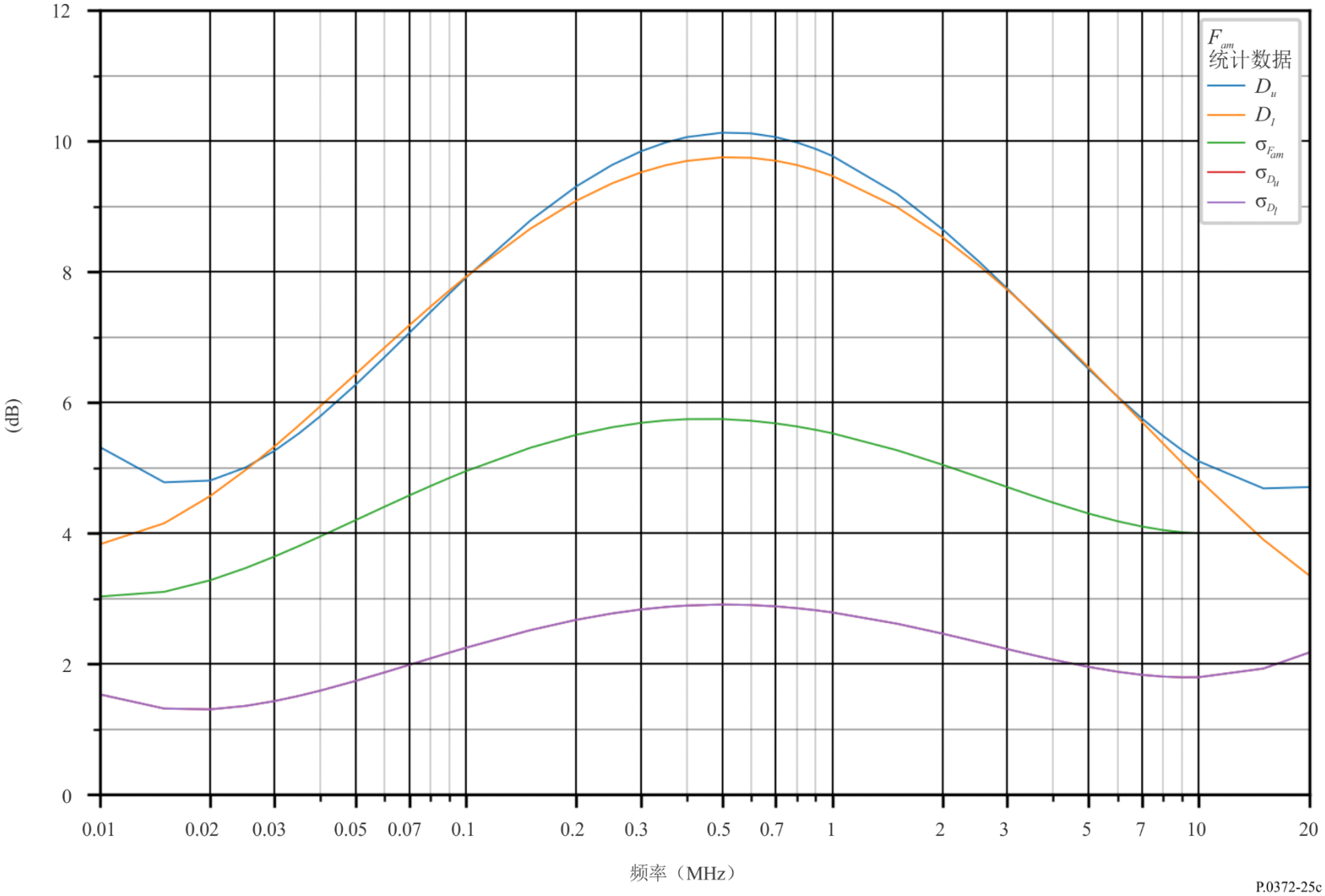
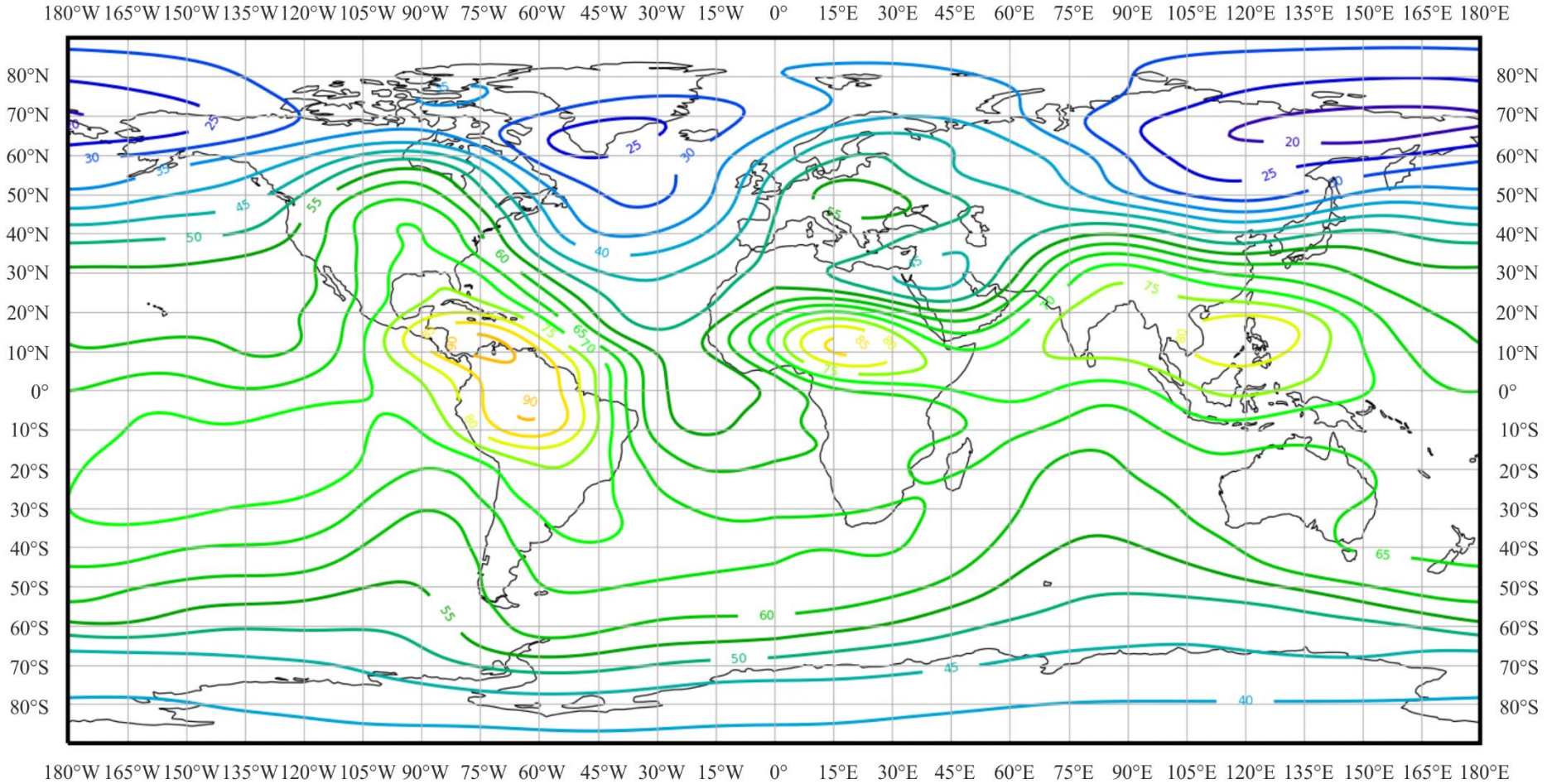


图26a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（6-7-8月；0400-0800 LT）



P.0372-26a

图26b

无线电噪声随频率的变化（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；0400-0800 LT）

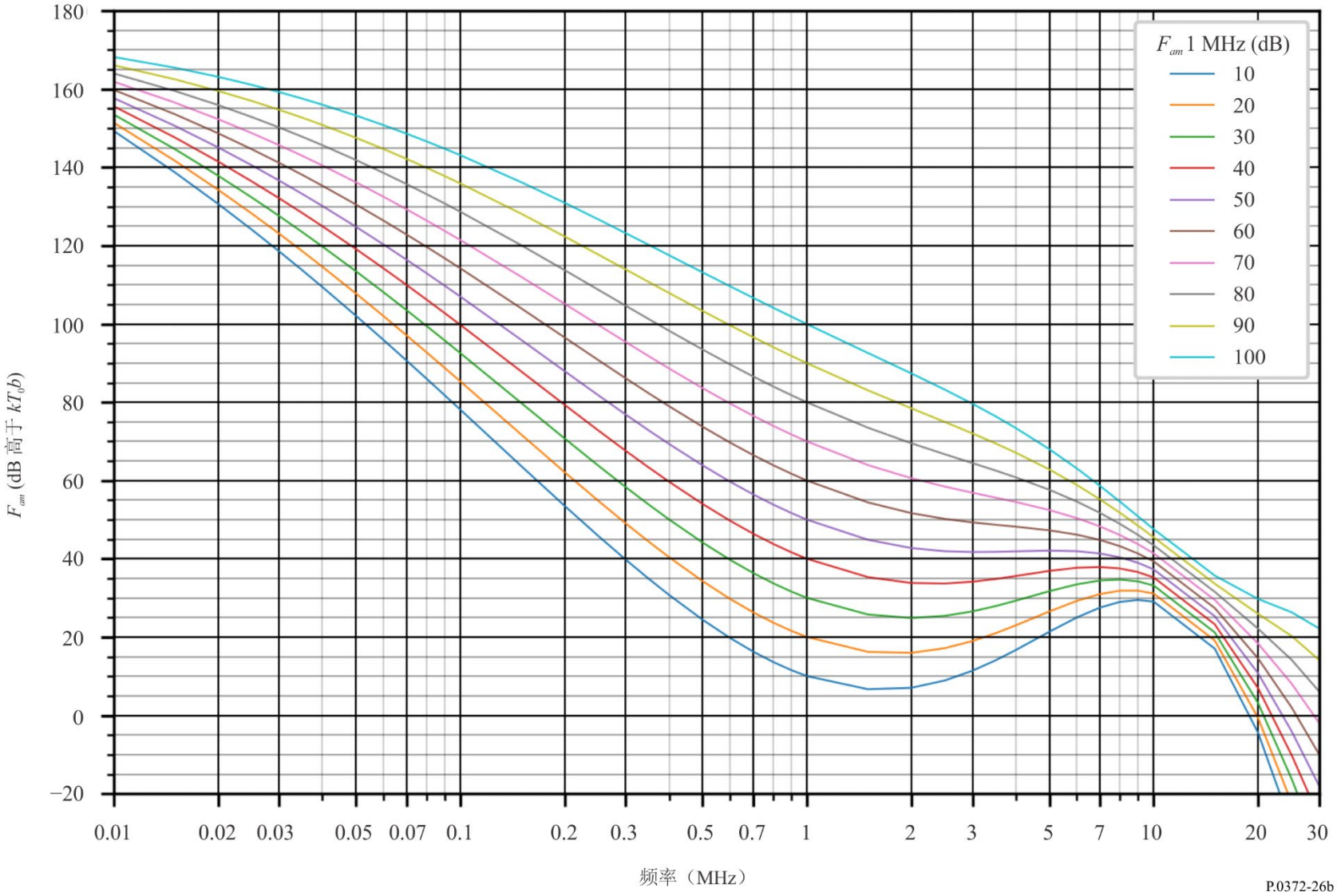


图26c

噪声可变性和特性数据（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；0400-0800 LT）

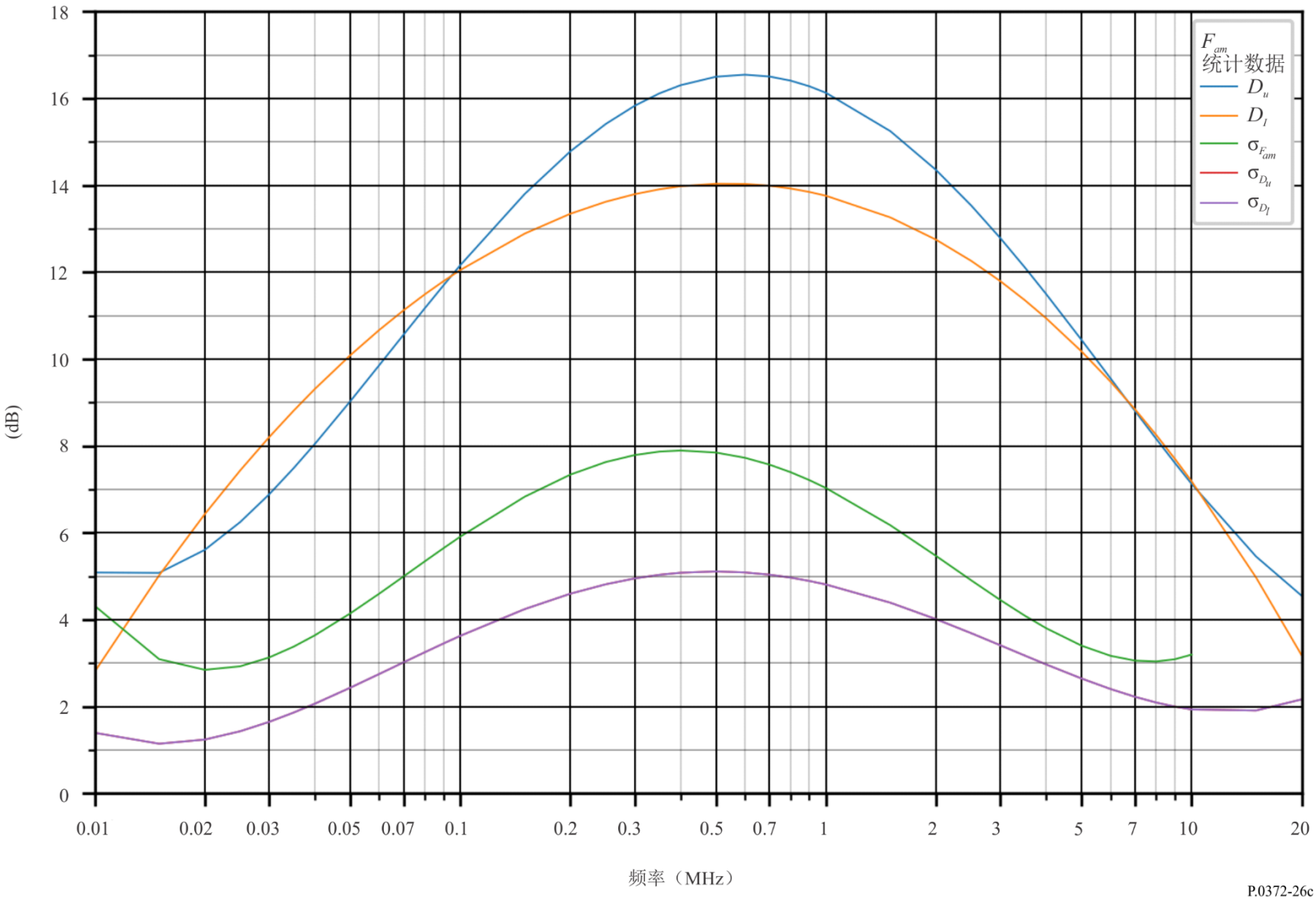
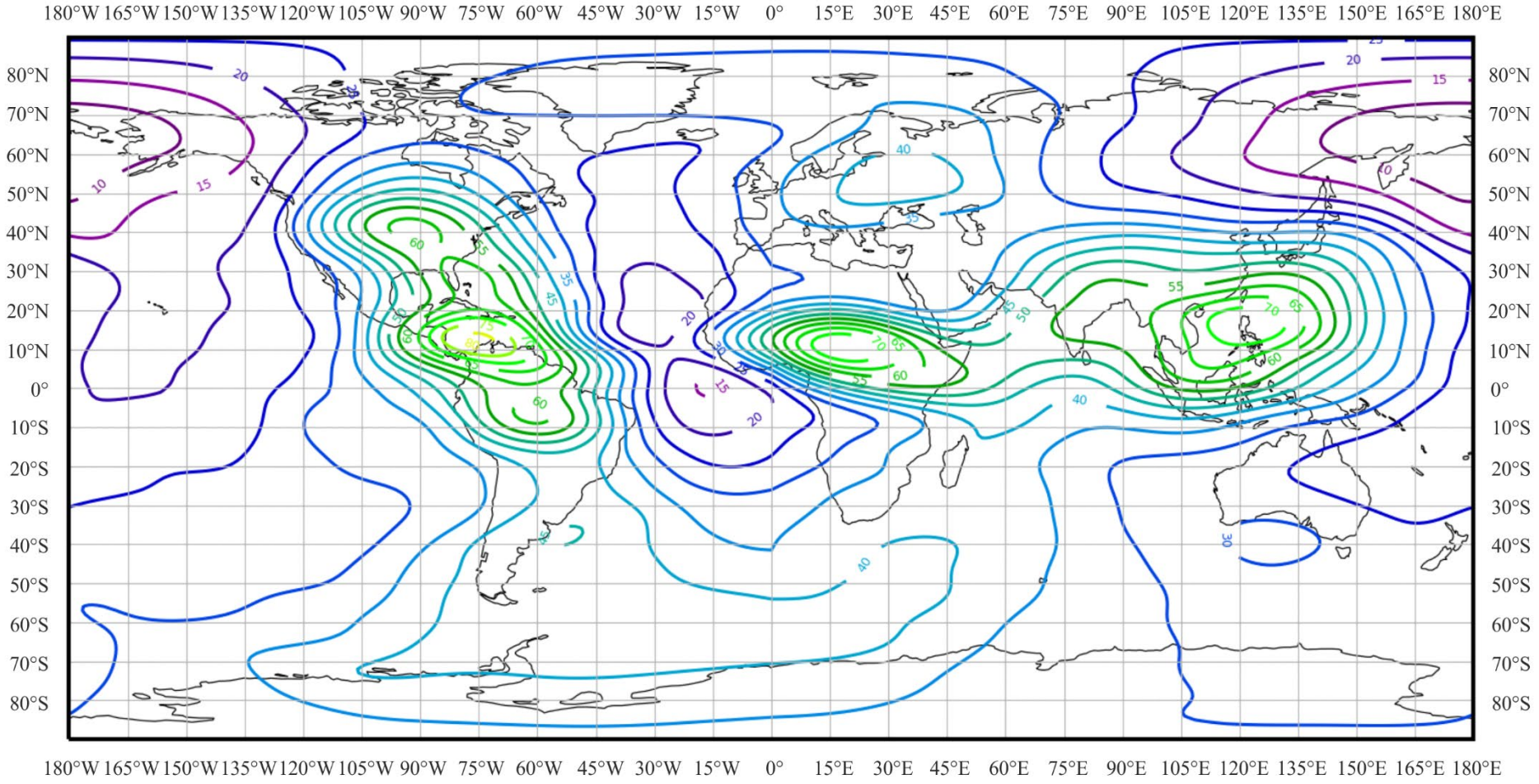


图27a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（6-7-8月；0800-1200 LT）



P.0372-27a

图27b

无线电噪声随频率的变化（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；0800-1200 LT）

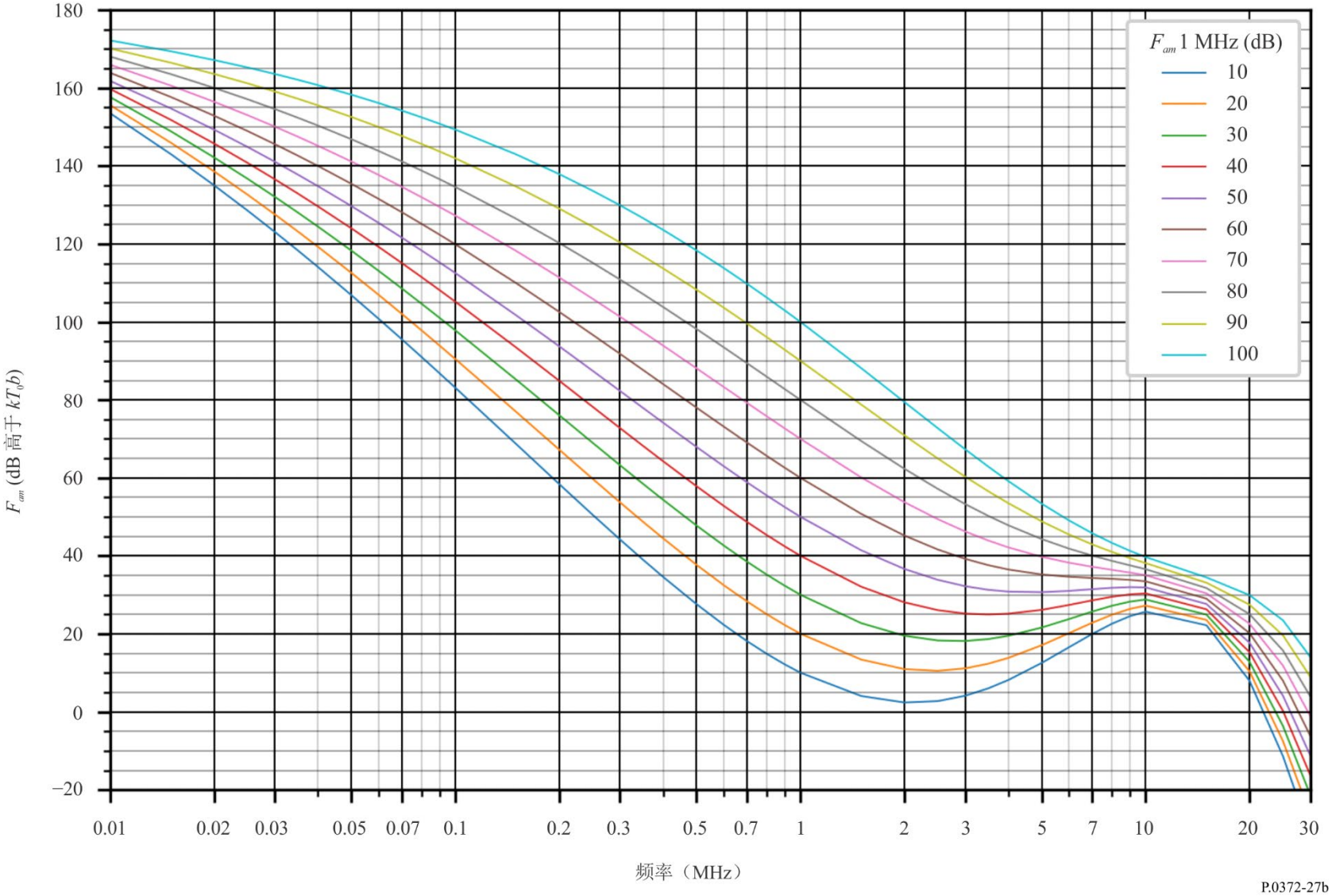
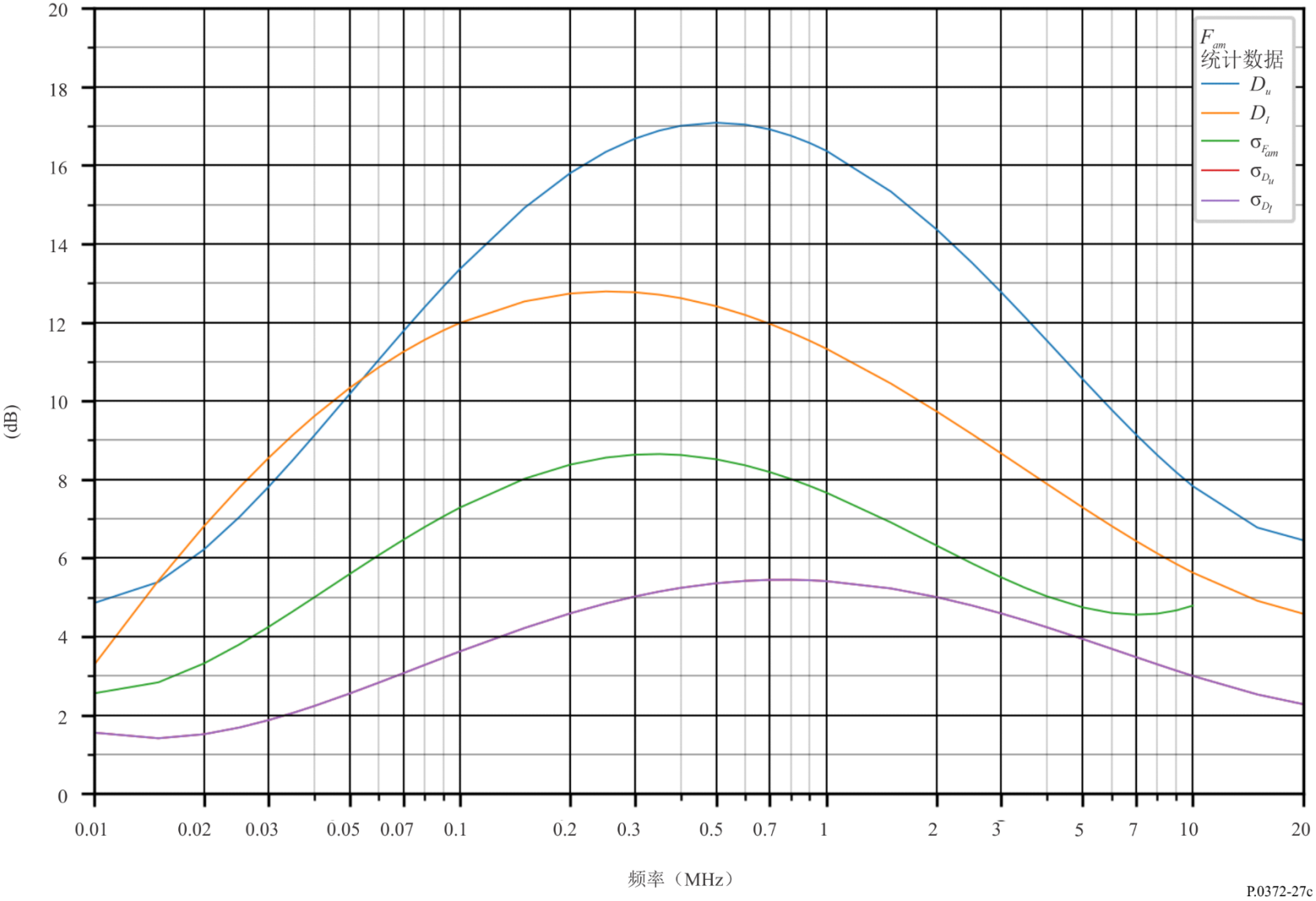


图27c

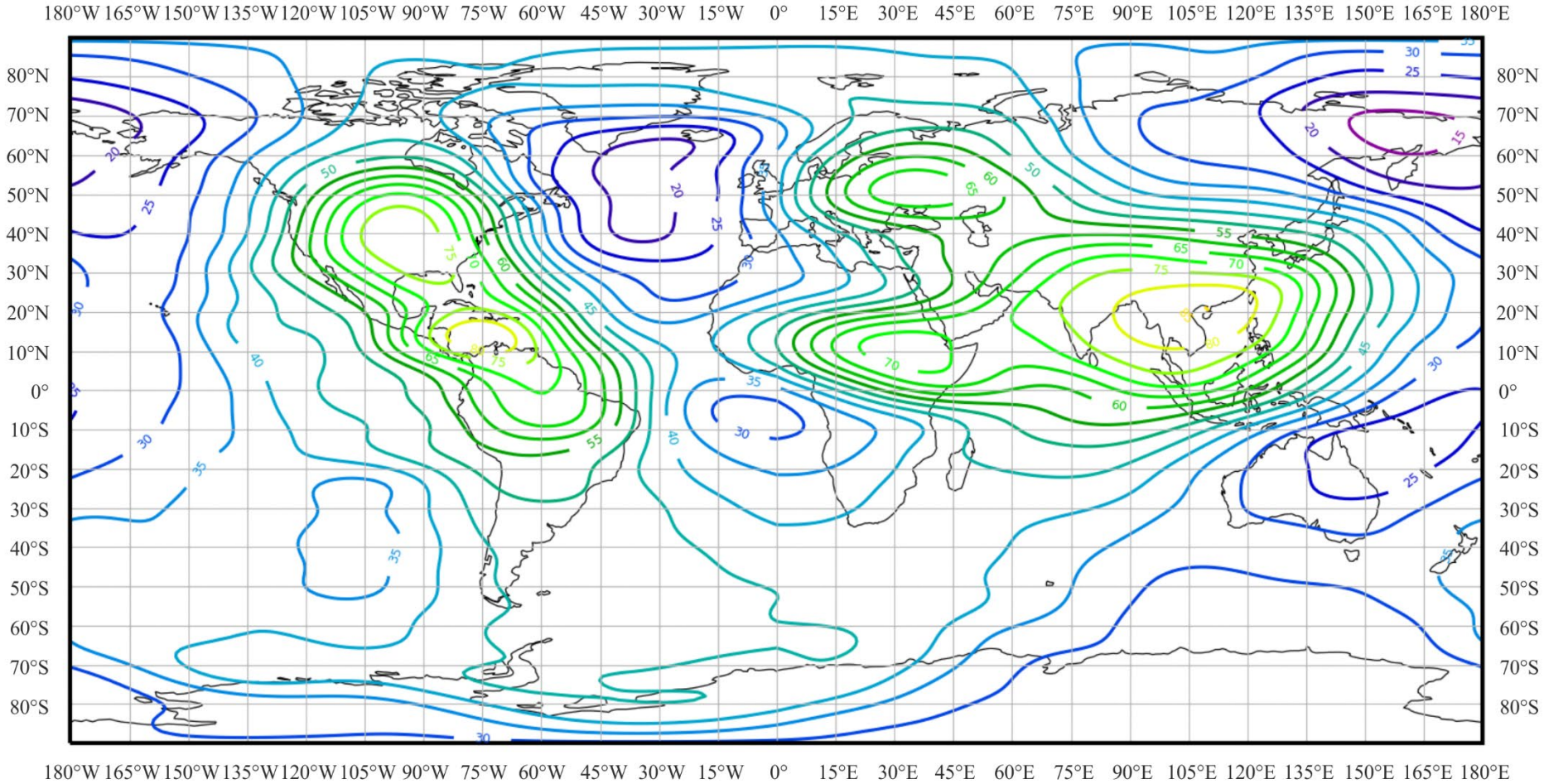
噪声可变性和特性数据（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；0800-1200 LT）



P.0372-27c

图28a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（6-7-8月；1200-1600 LT）



P.0372-28a

图28b

无线电噪声随频率的变化（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；1200-1600 LT）

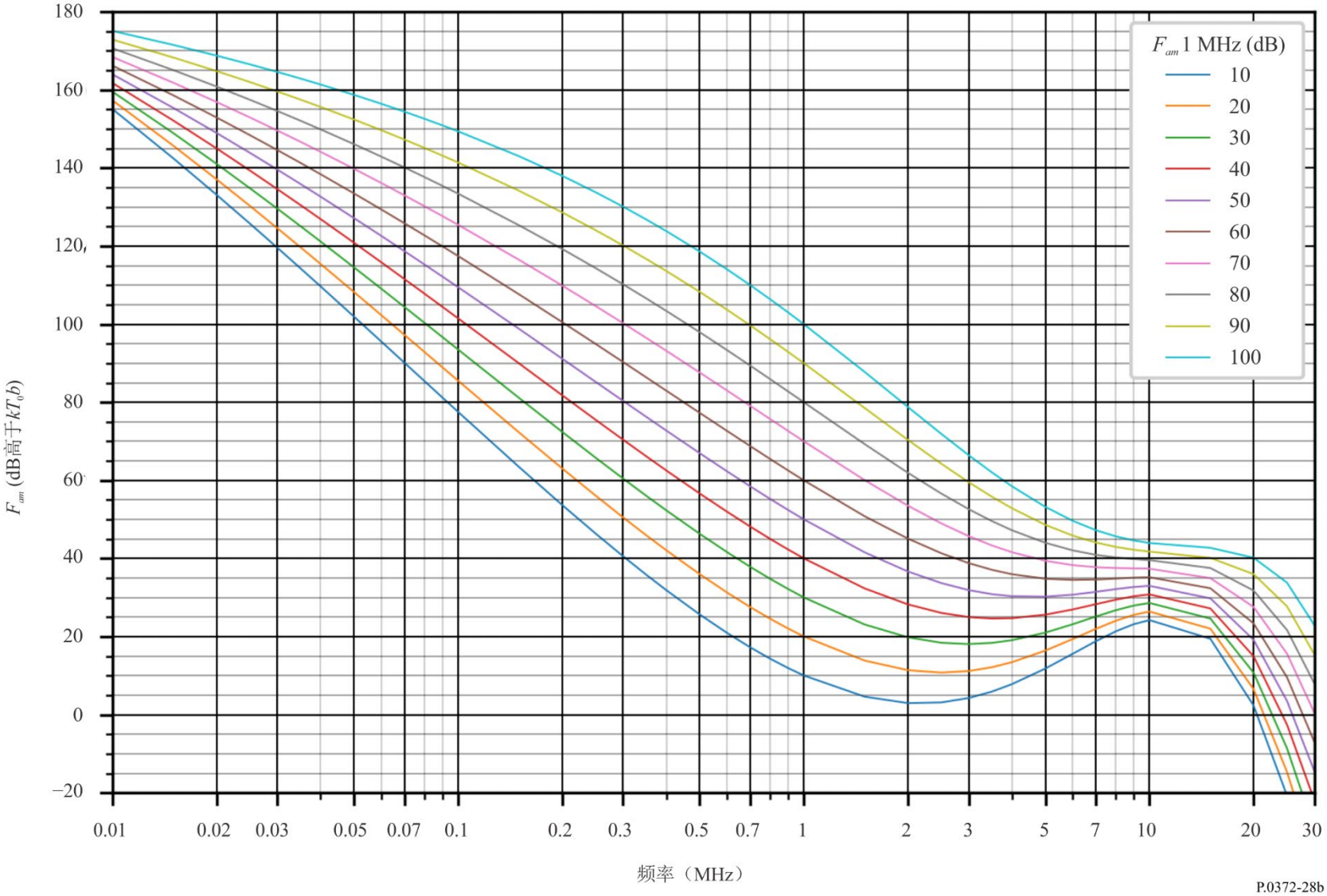


图28c

噪声可变性和特性数据（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；1200-1600 LT）

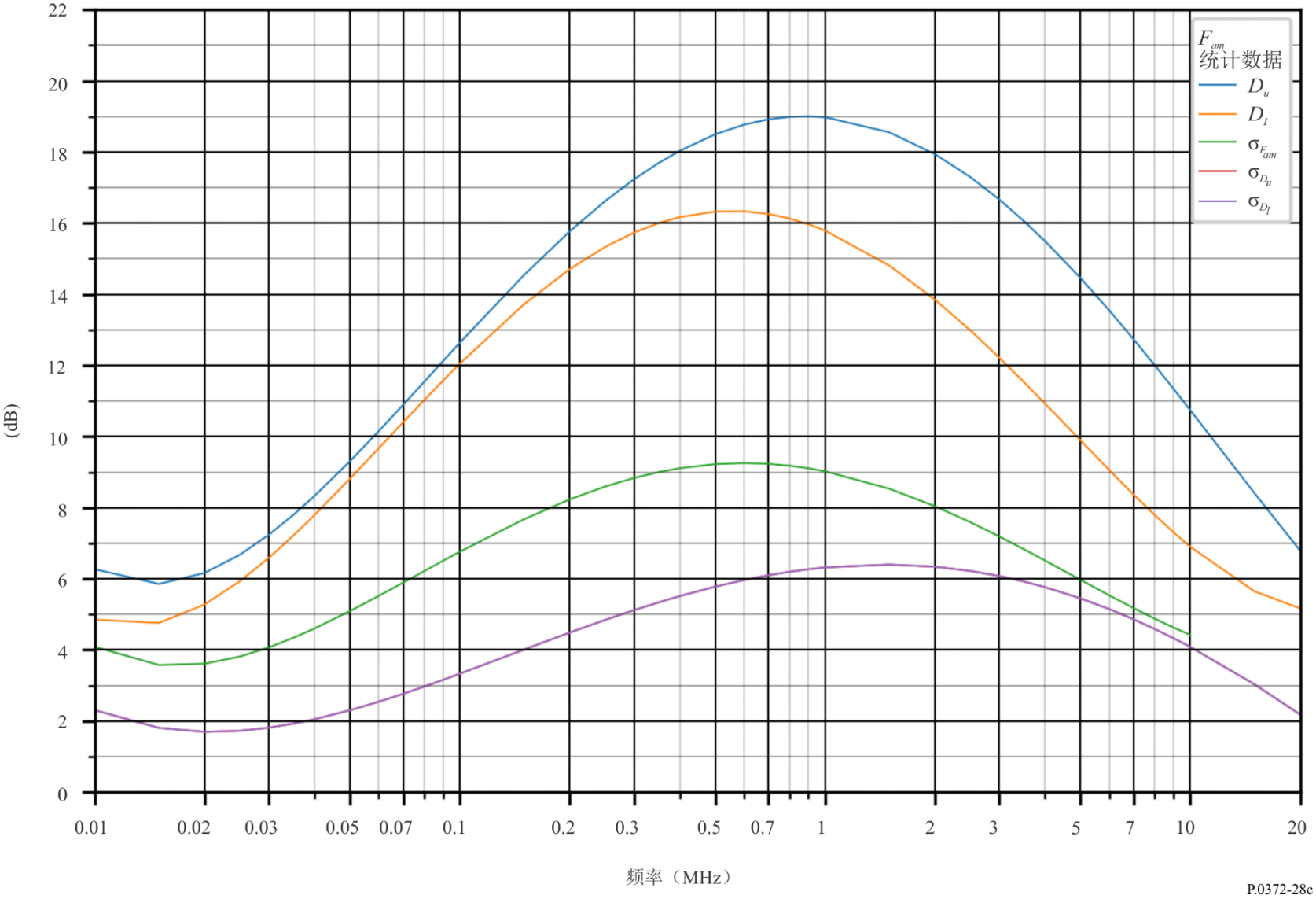
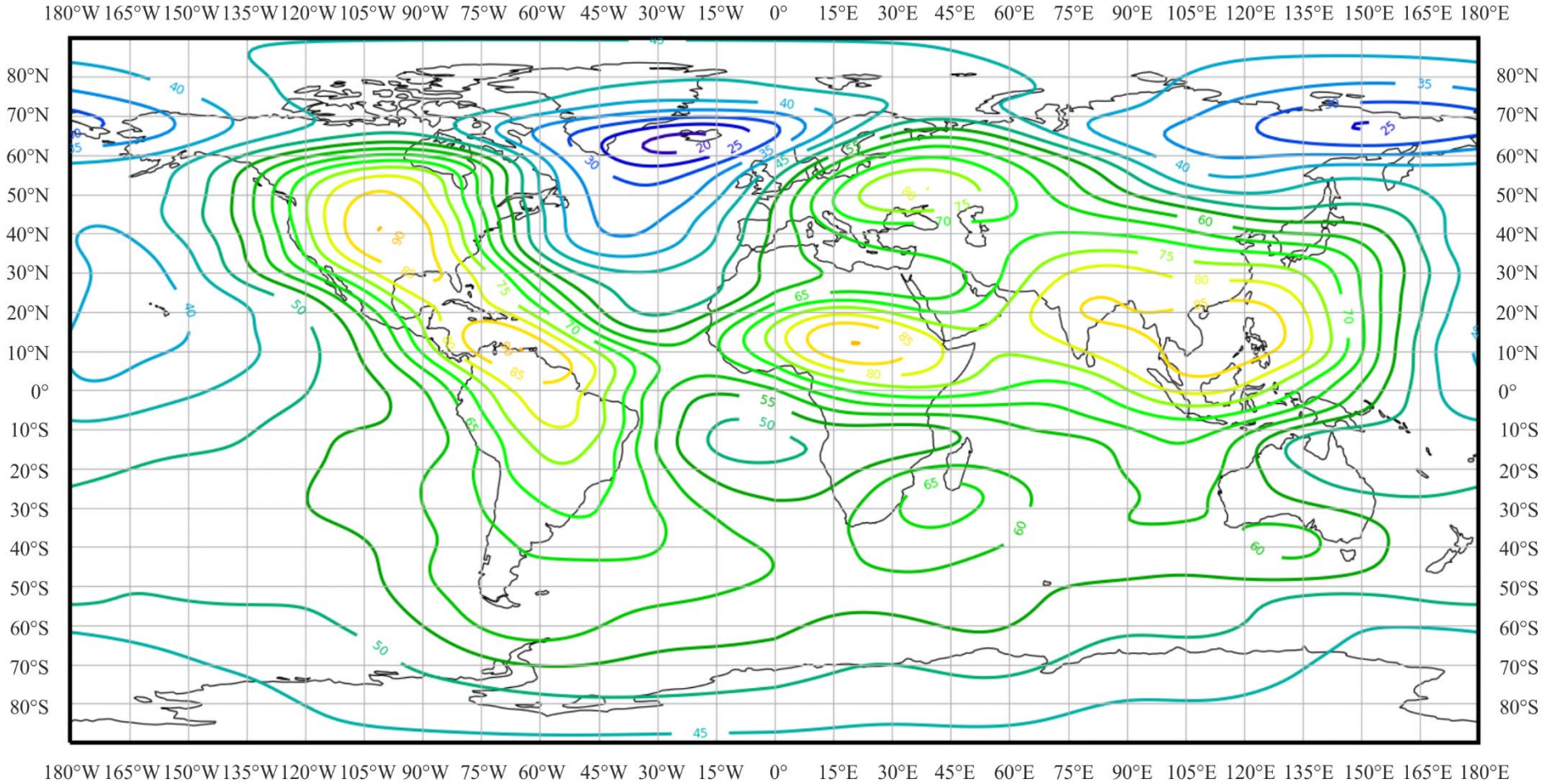


图29a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（6-7-8月；1600-2000 LT）



P.0372-29a

图29b

无线电噪声随频率的变化（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；1600-2000 LT）

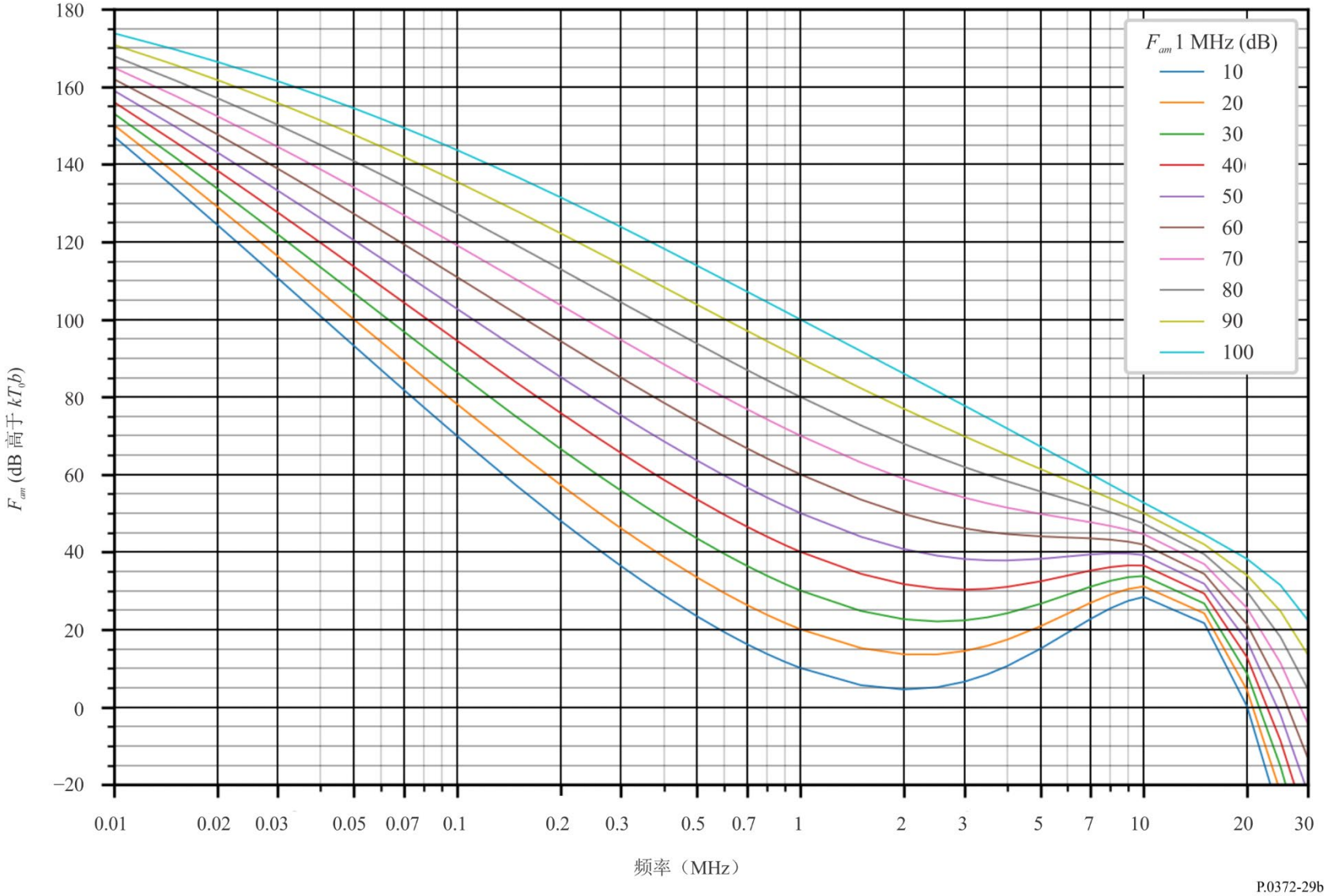


图29c

噪声可变性和特性数据（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；1600-2000 LT）

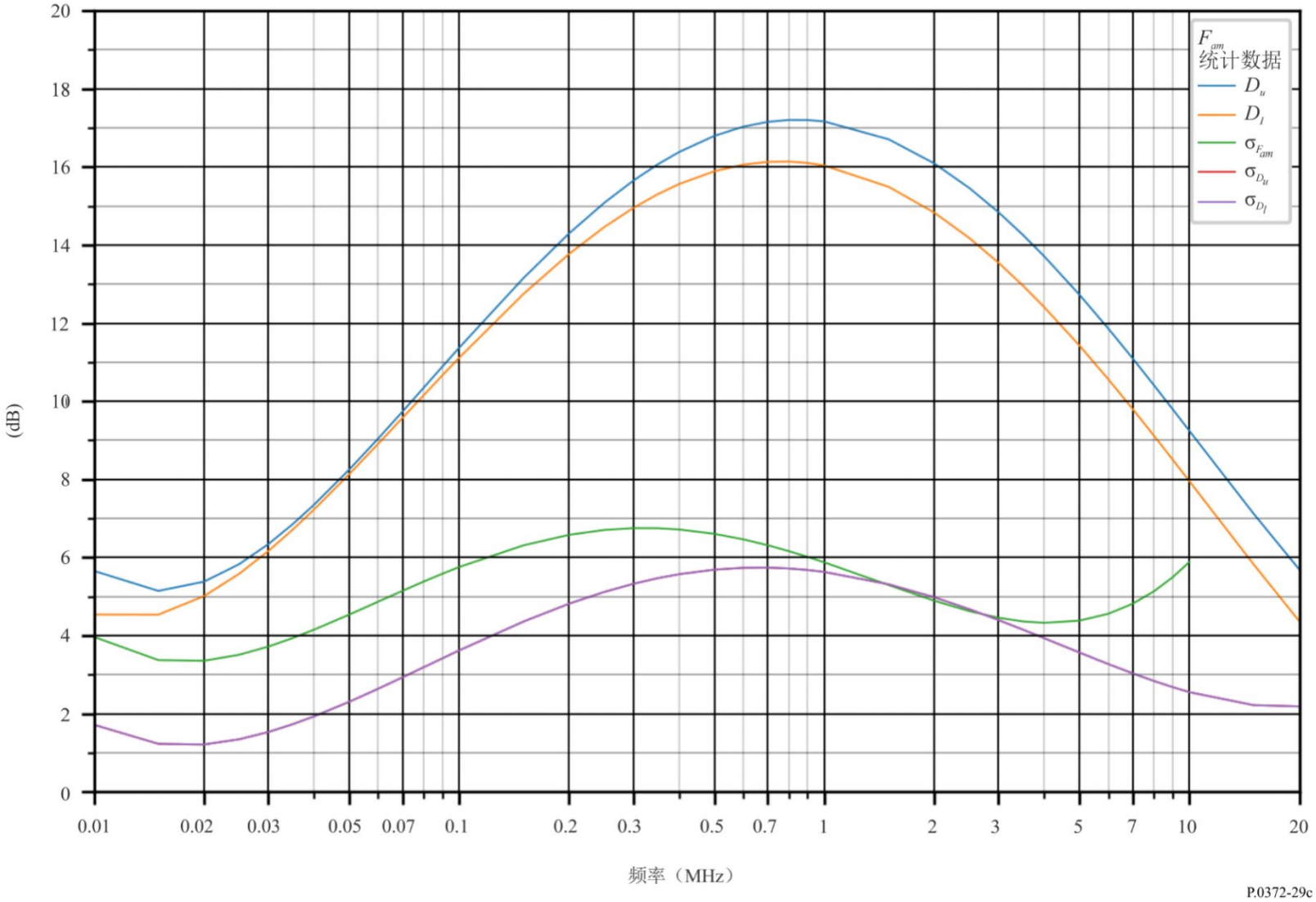
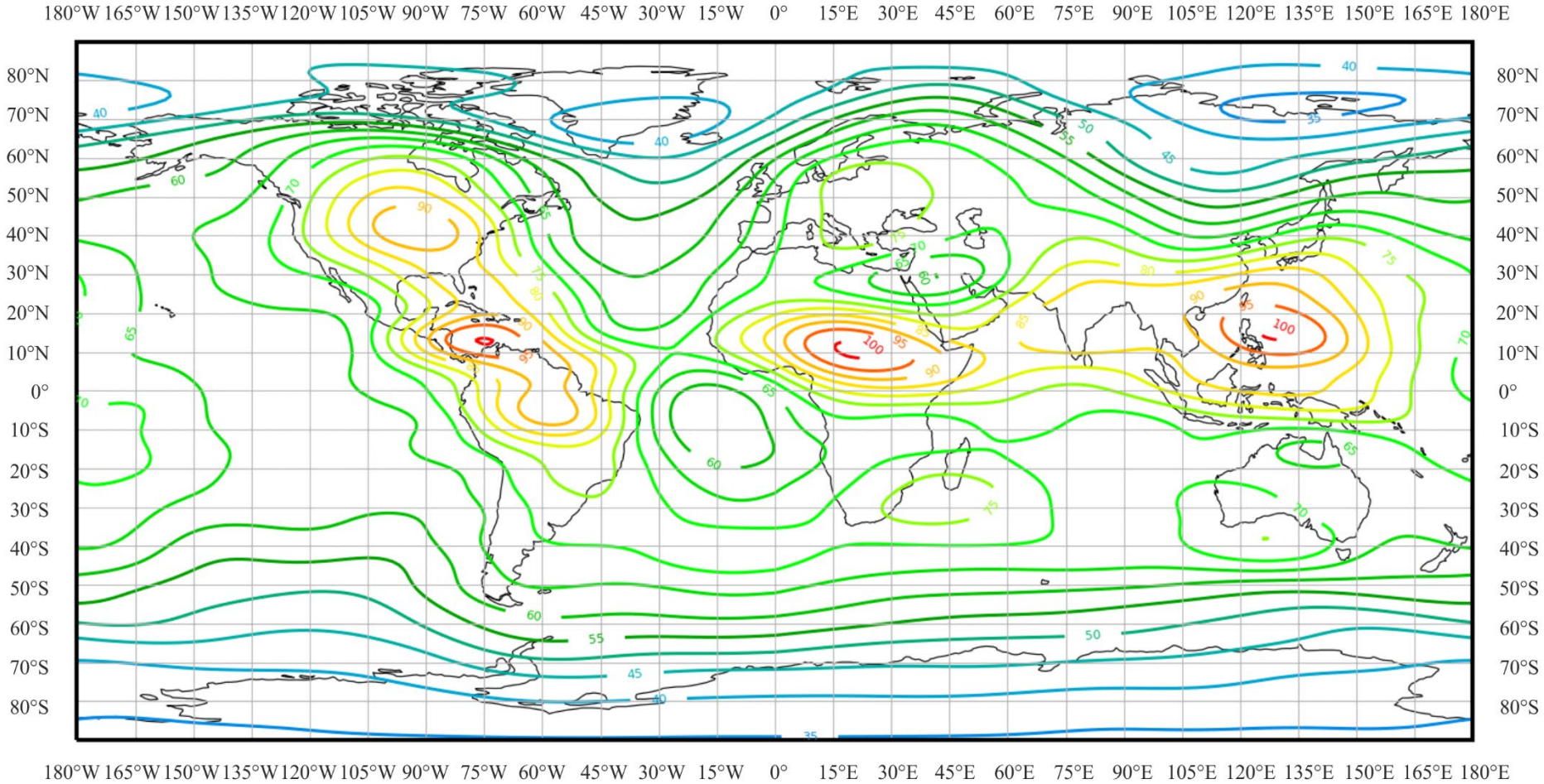


图30a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（6-7-8月；2000-2400 LT）



P.0372-30a

图30b

无线电噪声随频率的变化（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；2000-2400 LT）

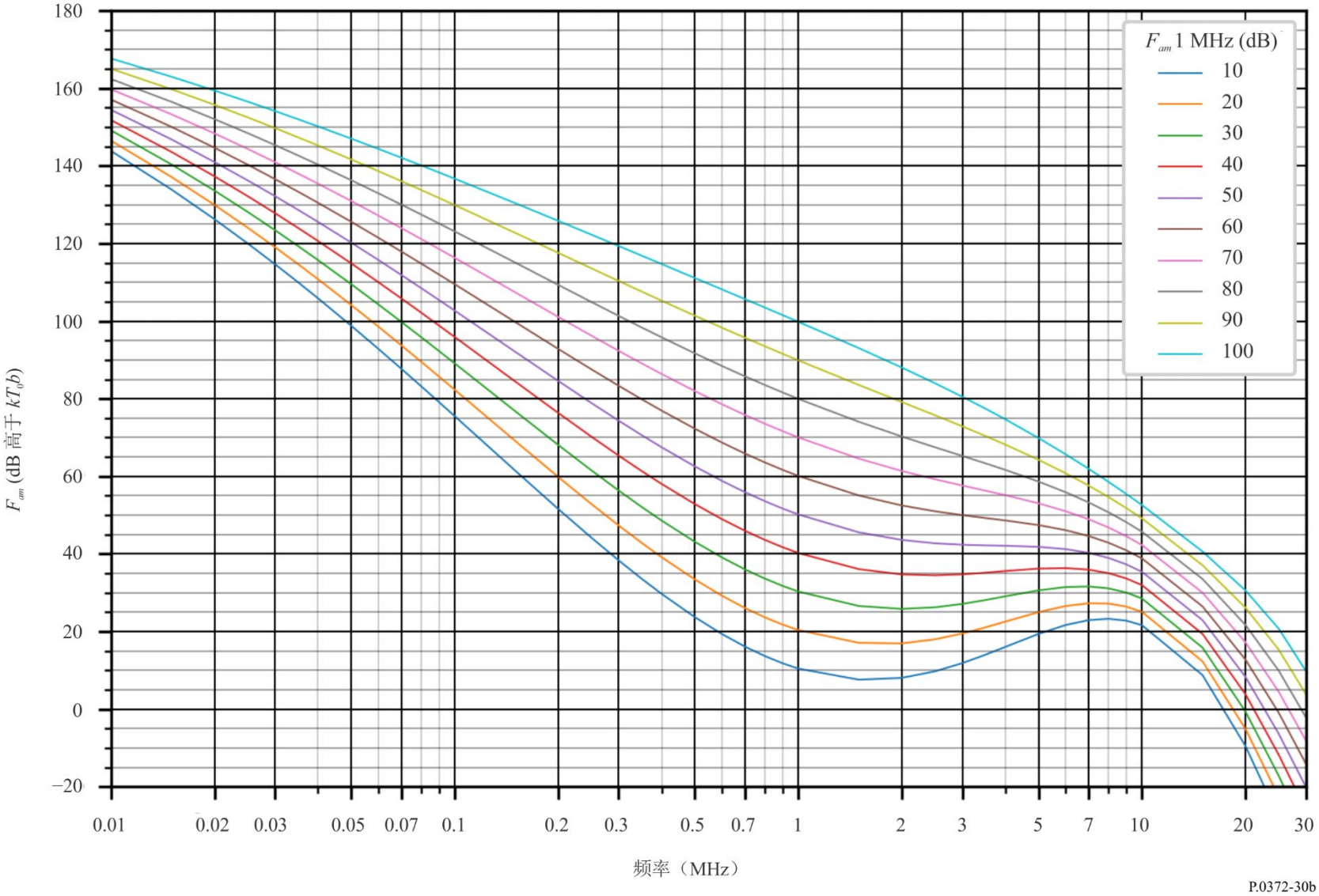


图30c

噪声可变性和特性数据（北半球：6-7-8月；南半球：12-1-2月；2000-2400 LT）

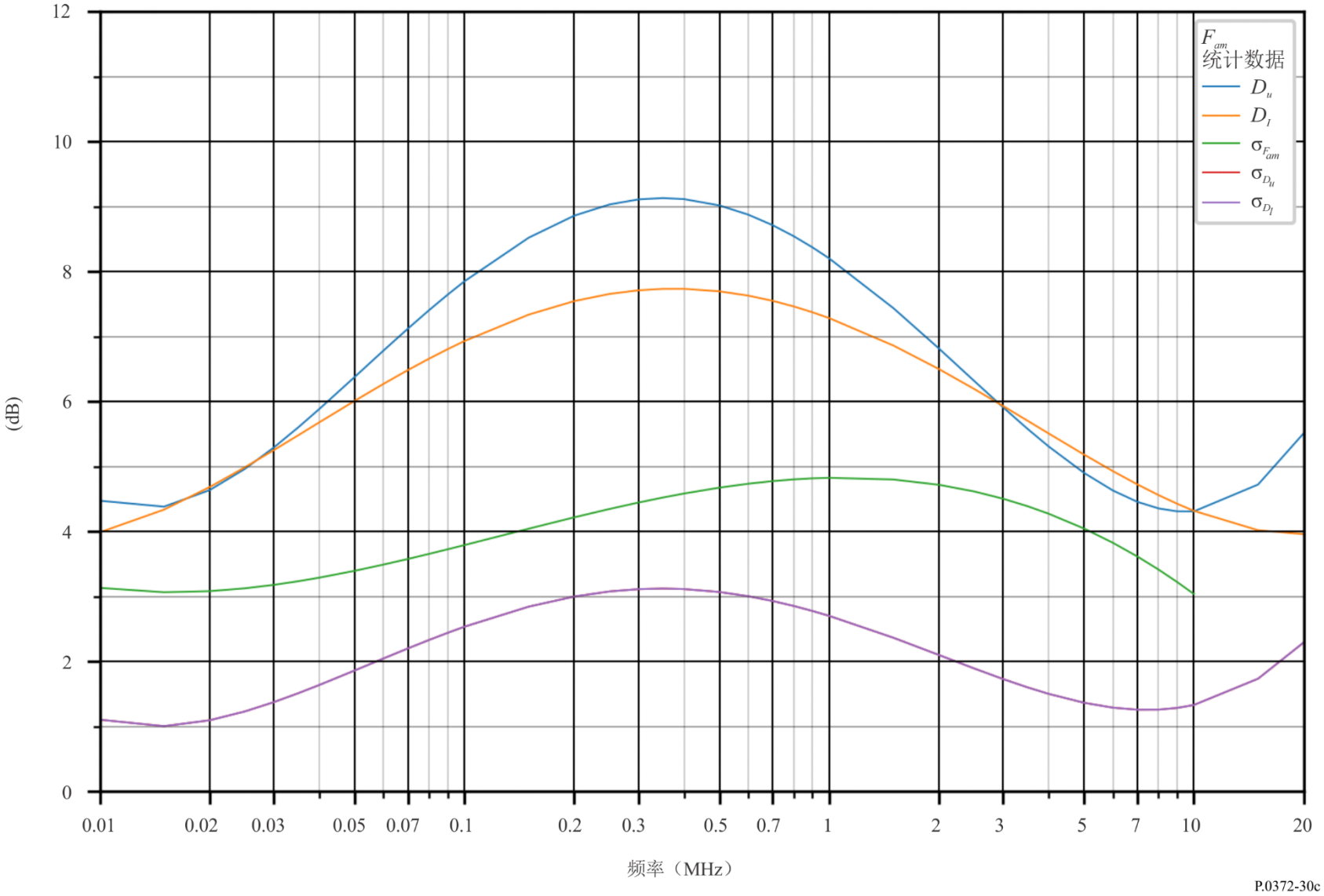
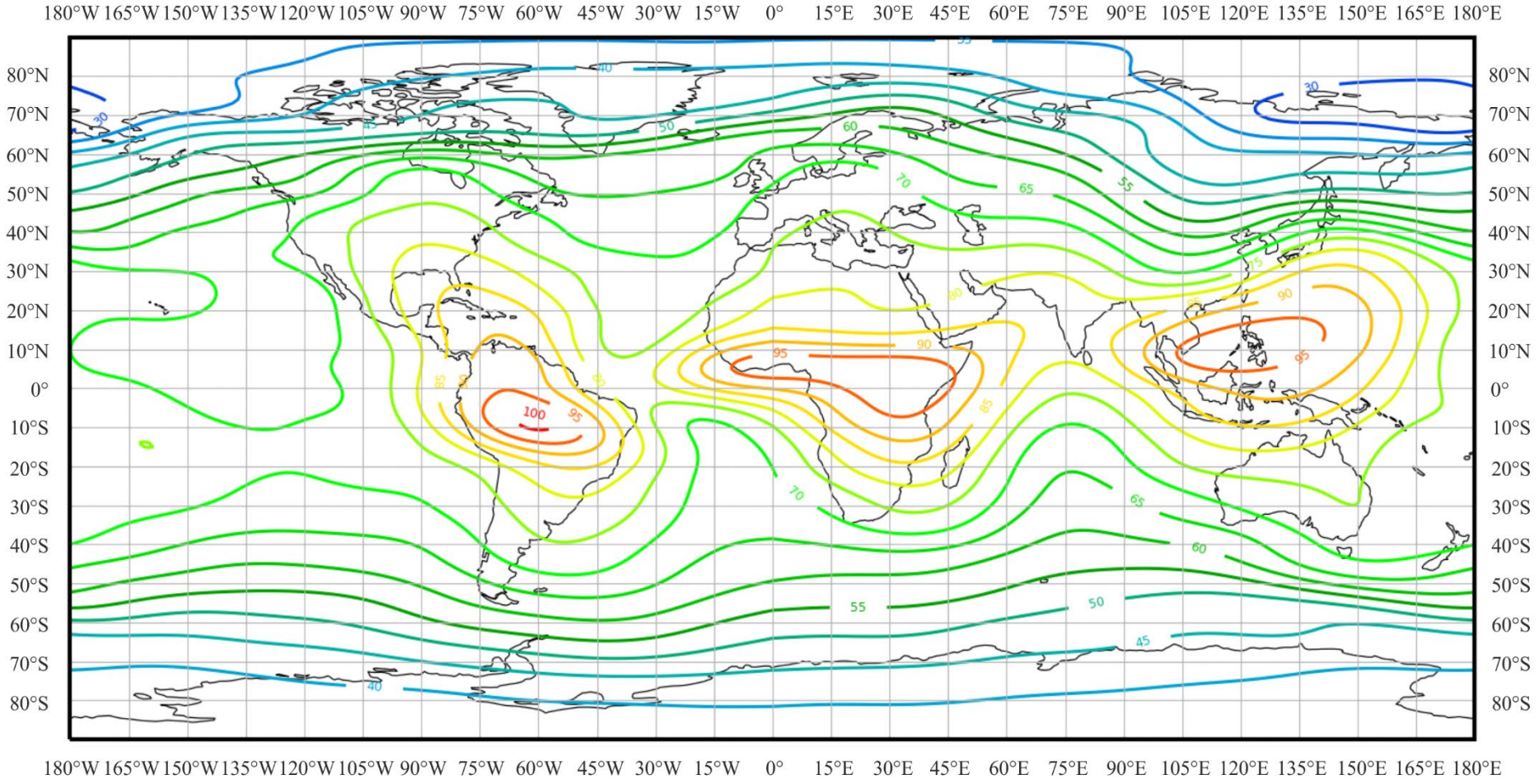


图31a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（9-10-11月；0000-0400 LT）



P.0372-31a

图31b

无线电噪声随频率的变化（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；0000-0400 LT）

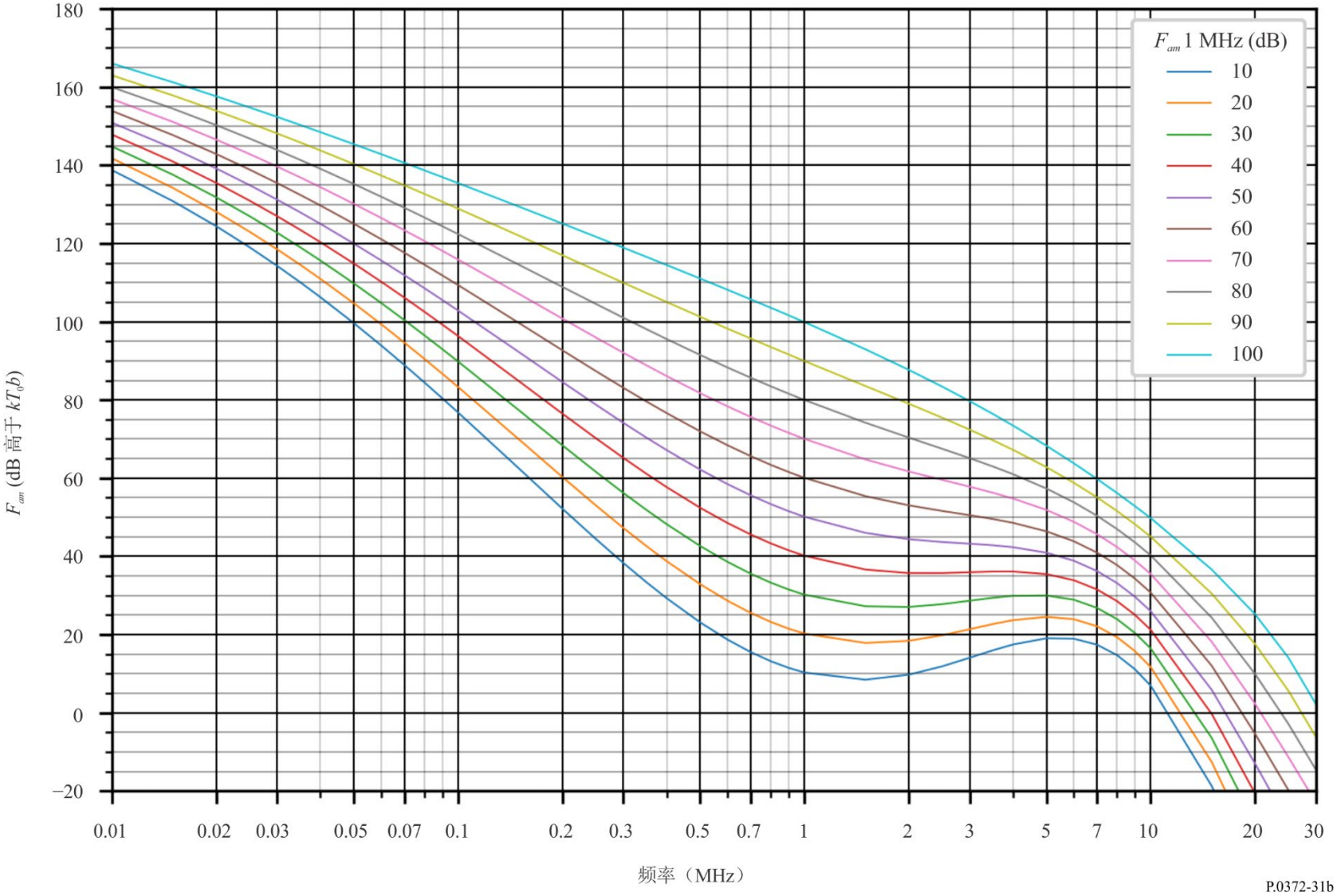


图31c

噪声可变性和特性数据（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；0000-0400 LT）

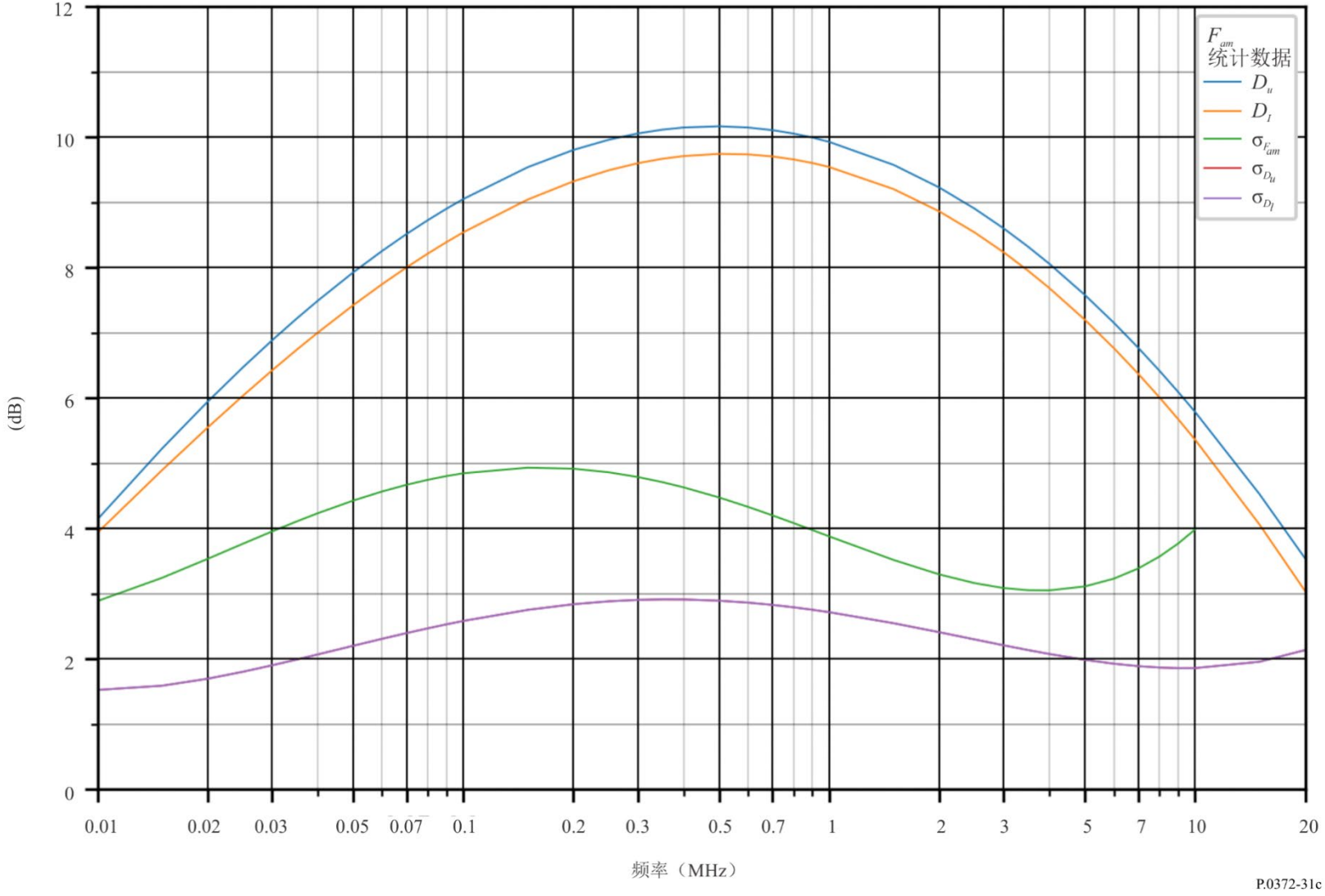
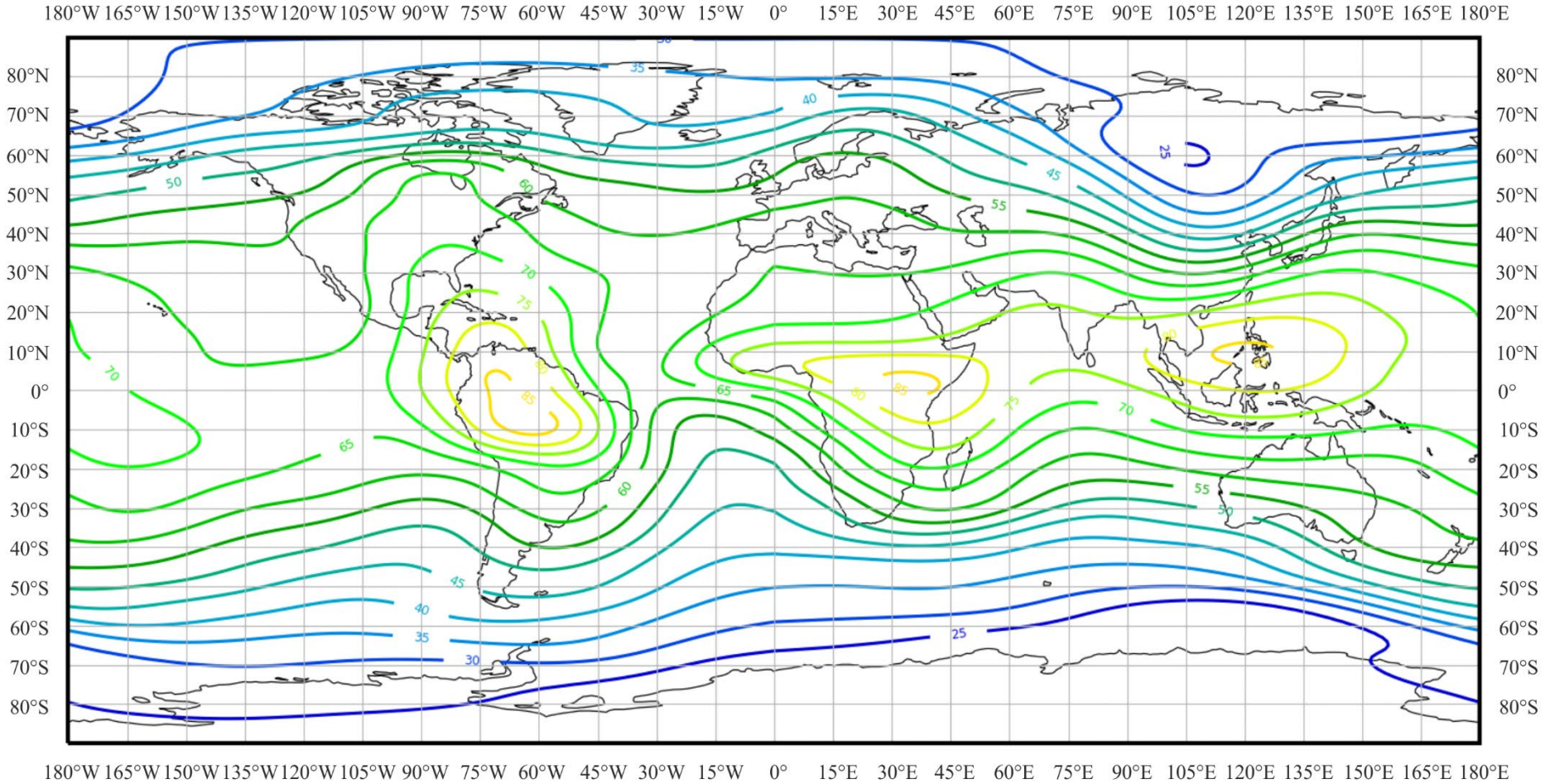


图32a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（9-10-11月；0400-0800 LT）



P.0372-32a

图32b

无线电噪声随频率的变化（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；0400-0800 LT）

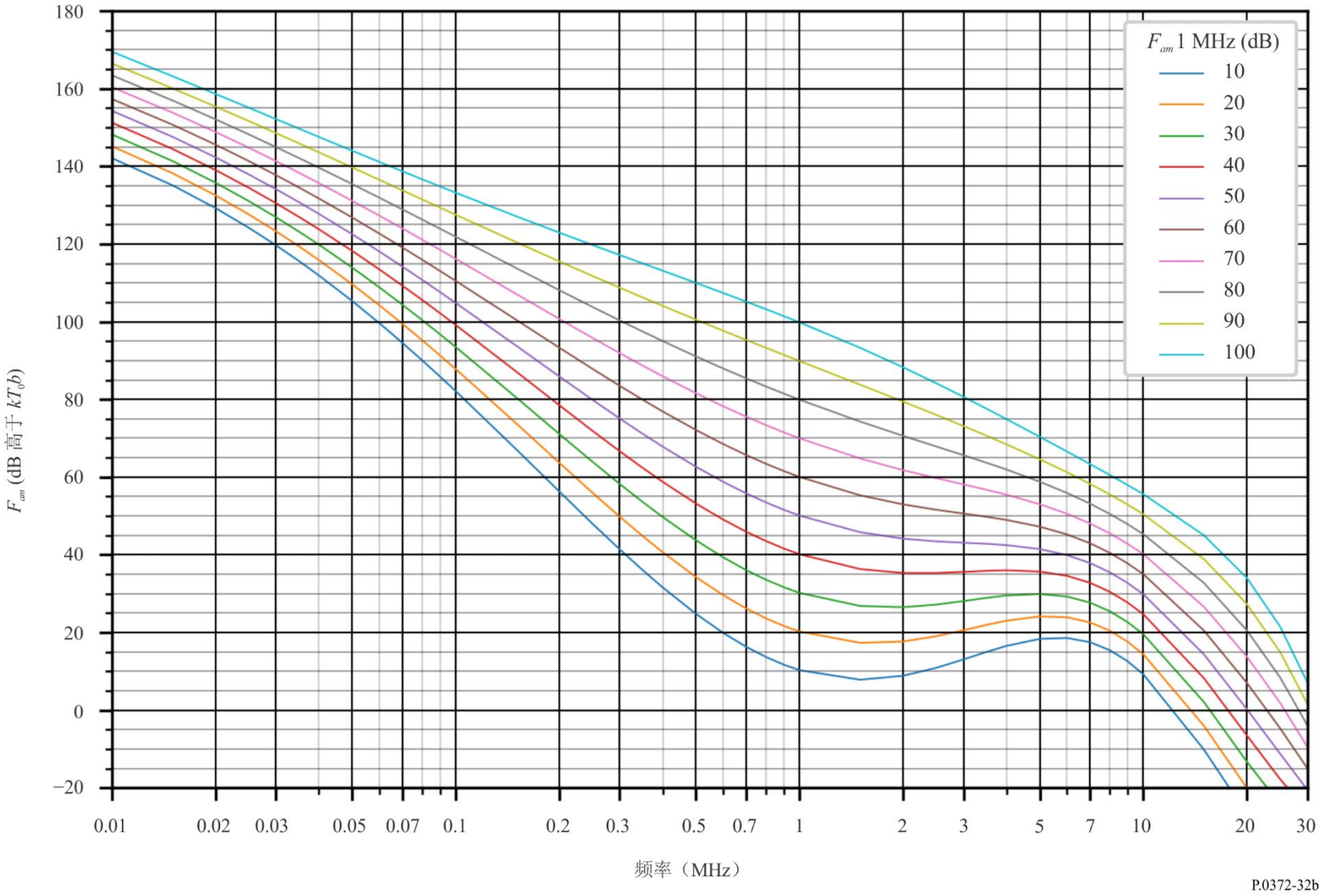


图32c

噪声可变性和特性数据（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；0400-0800 LT）

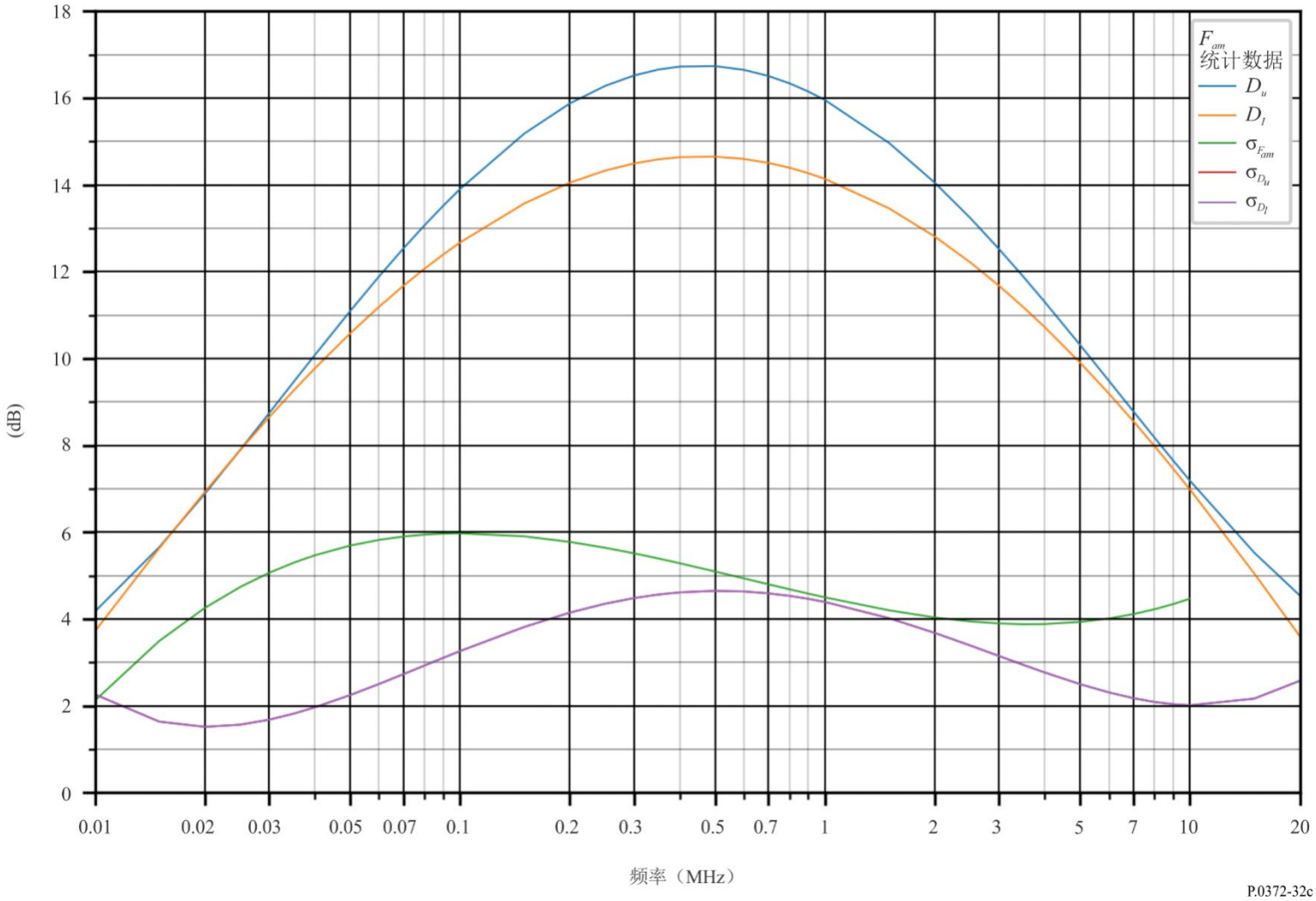
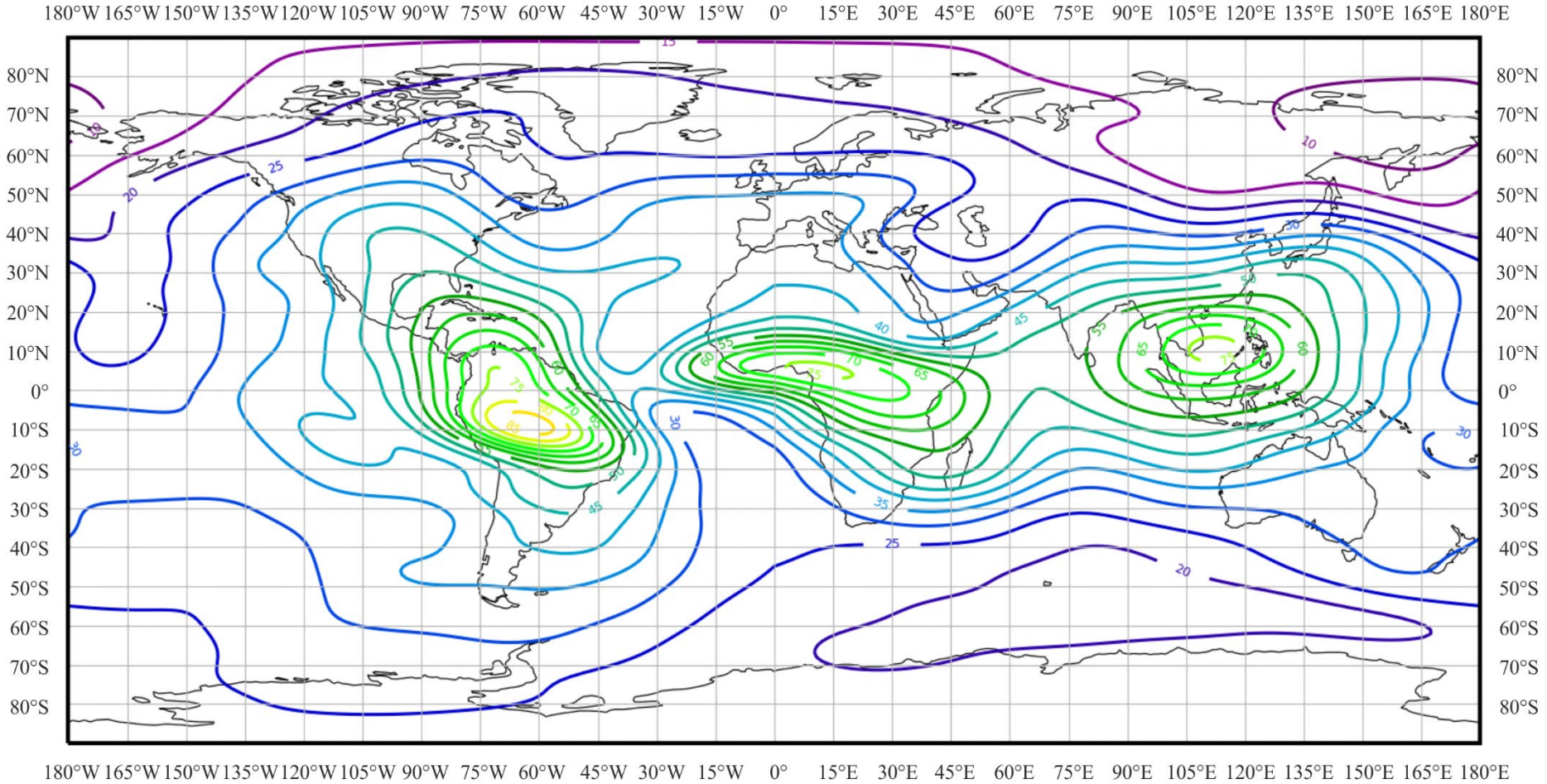


图33a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（9-10-11月；0800-1200 LT）



P.0372-33a

图33b

无线电噪声随频率的变化（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；0800-1200 LT）

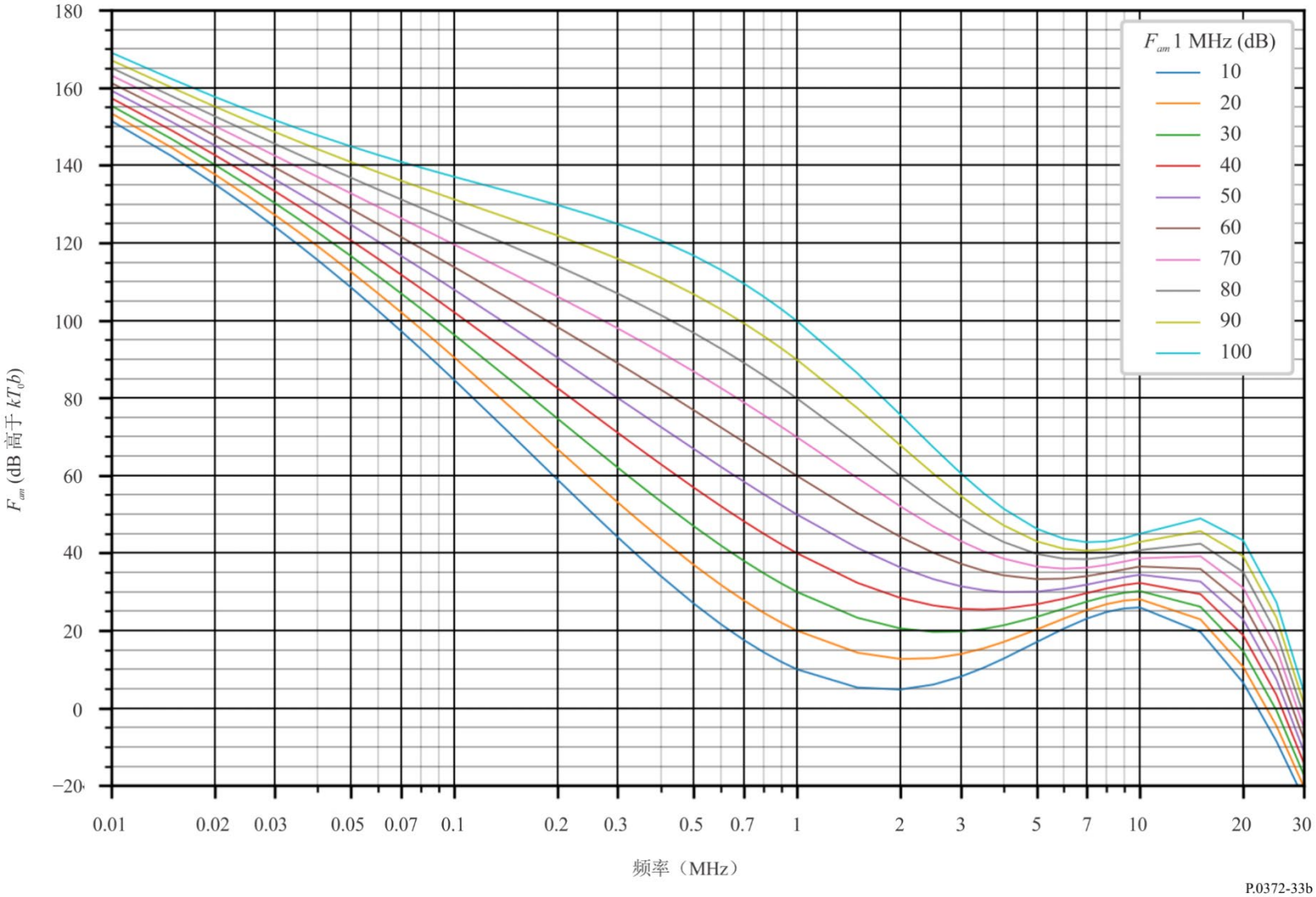


图33c

噪声可变性和特性数据（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；0800-1200 LT）

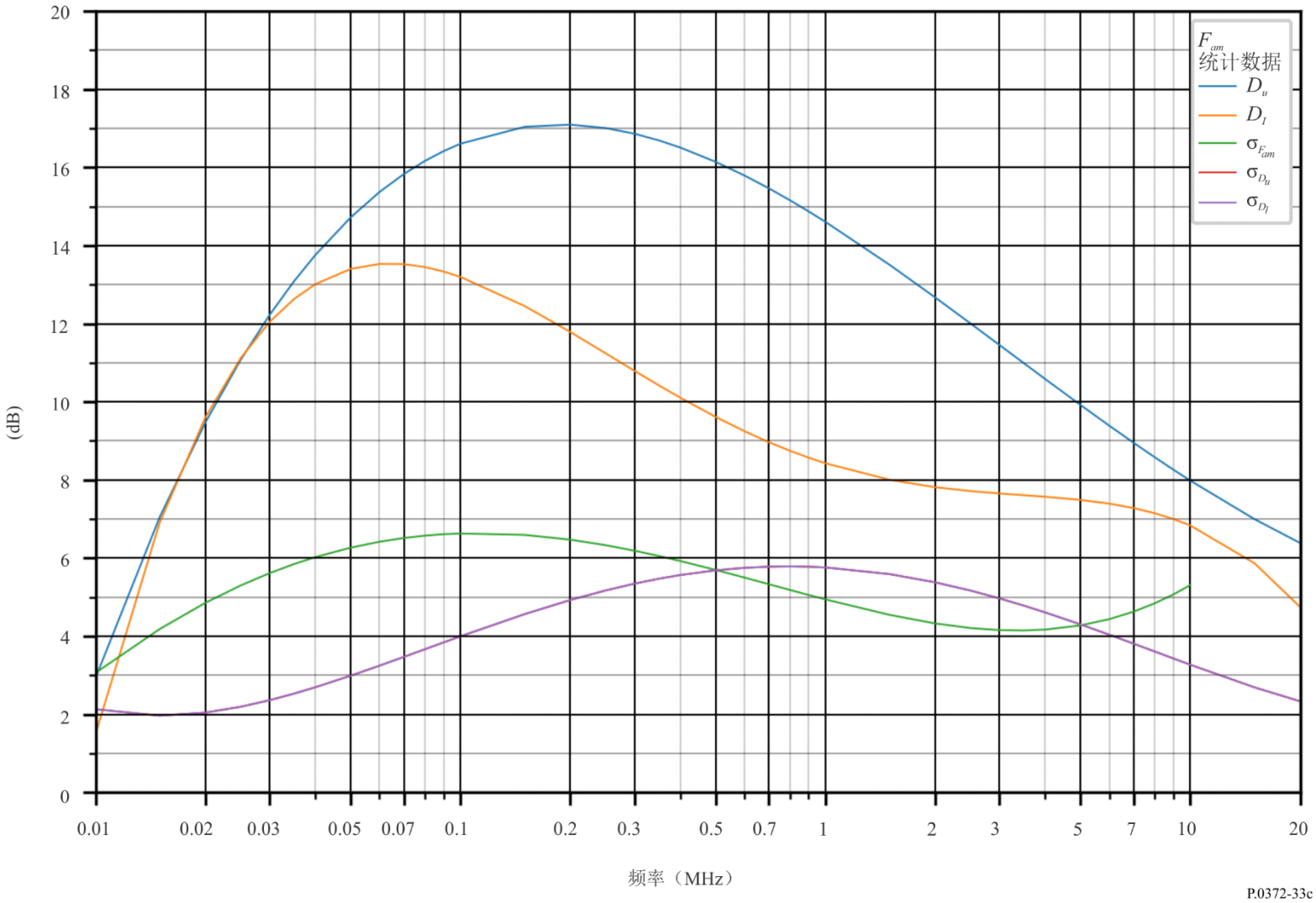
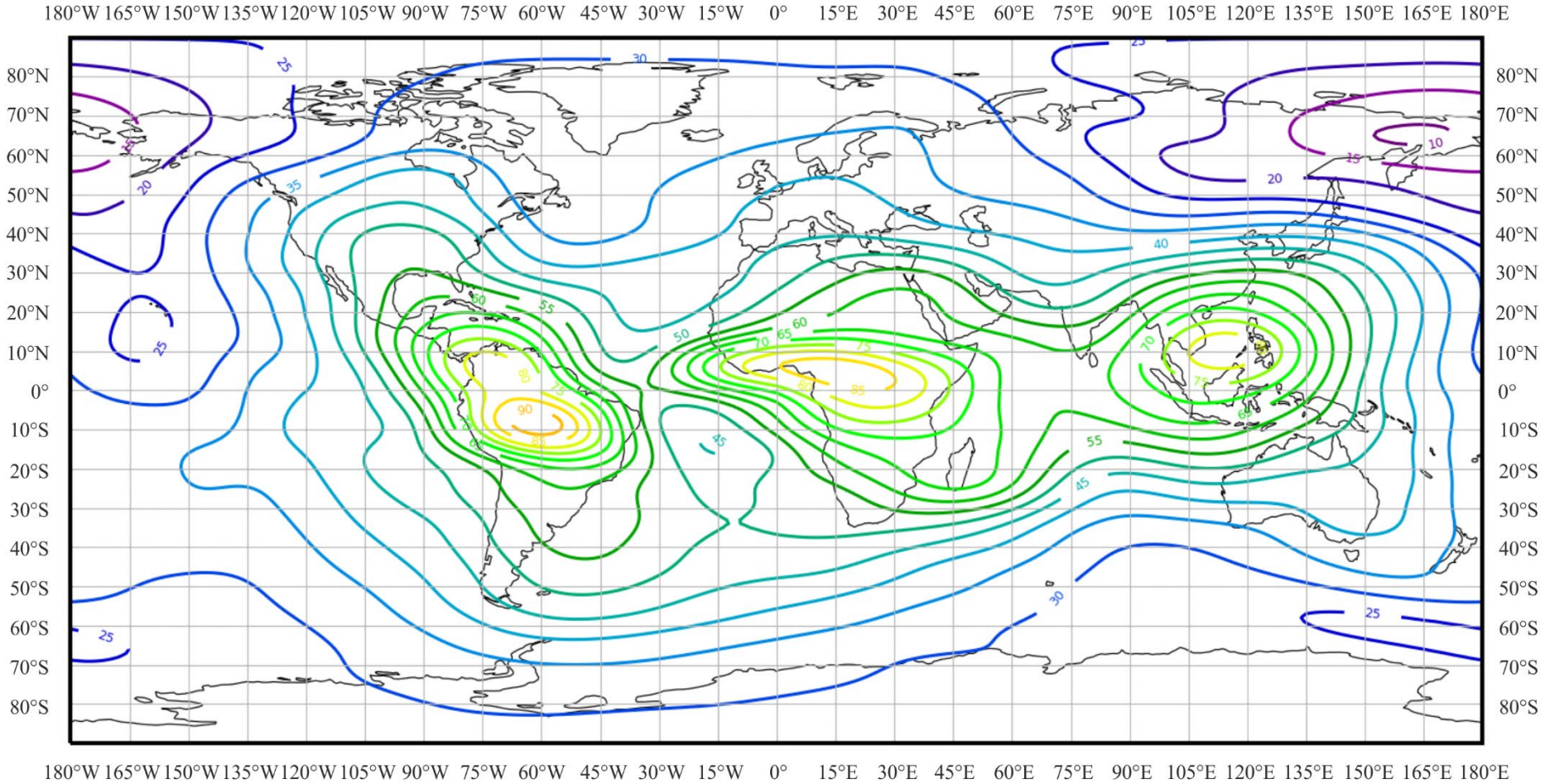


图34a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（9-10-11月；1200-1600 LT）



P.0372-34a

图34b

无线电噪声随频率的变化（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；1200-1600 LT）

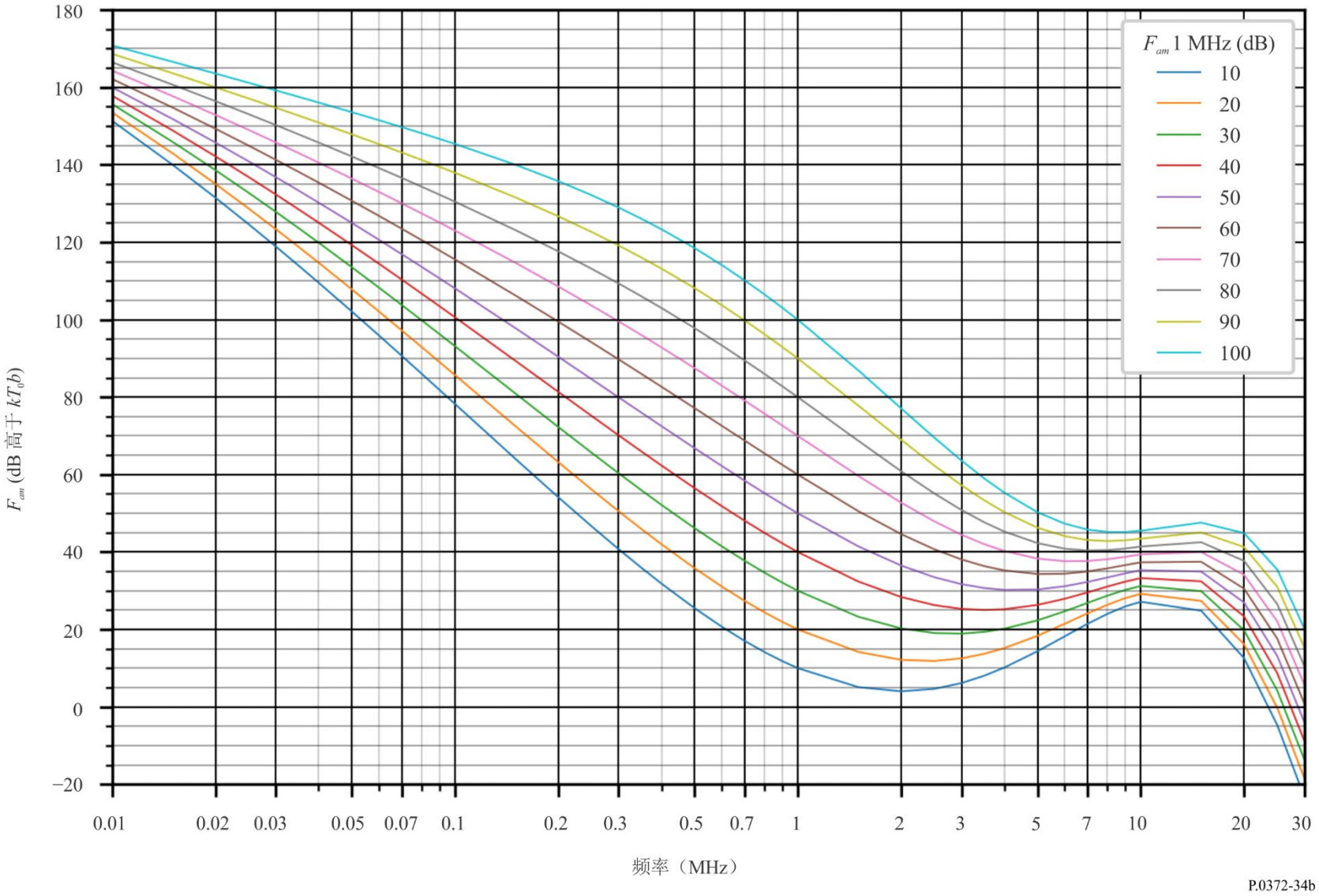


图34c

噪声可变性和特性数据（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；1200-1600 LT）

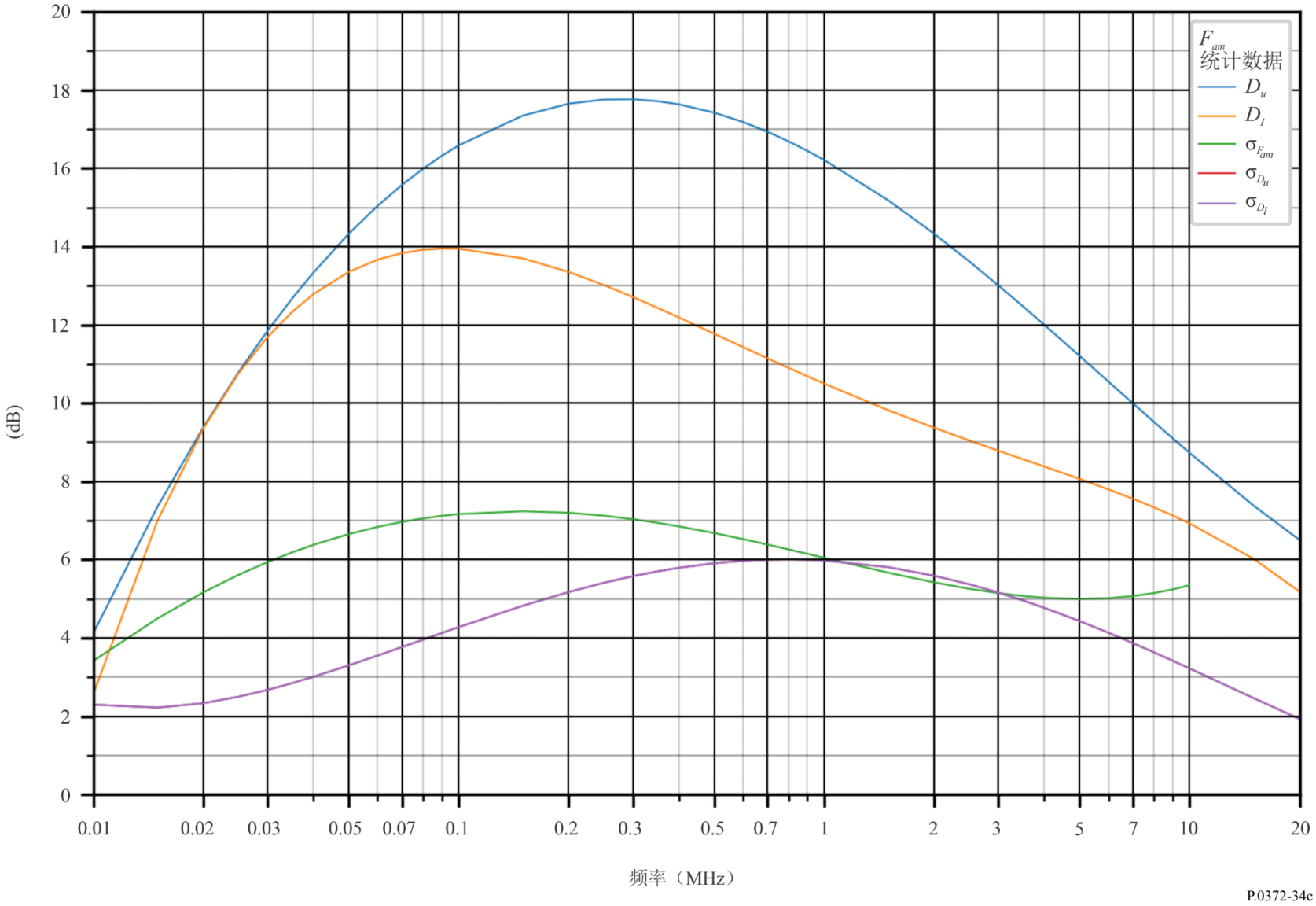
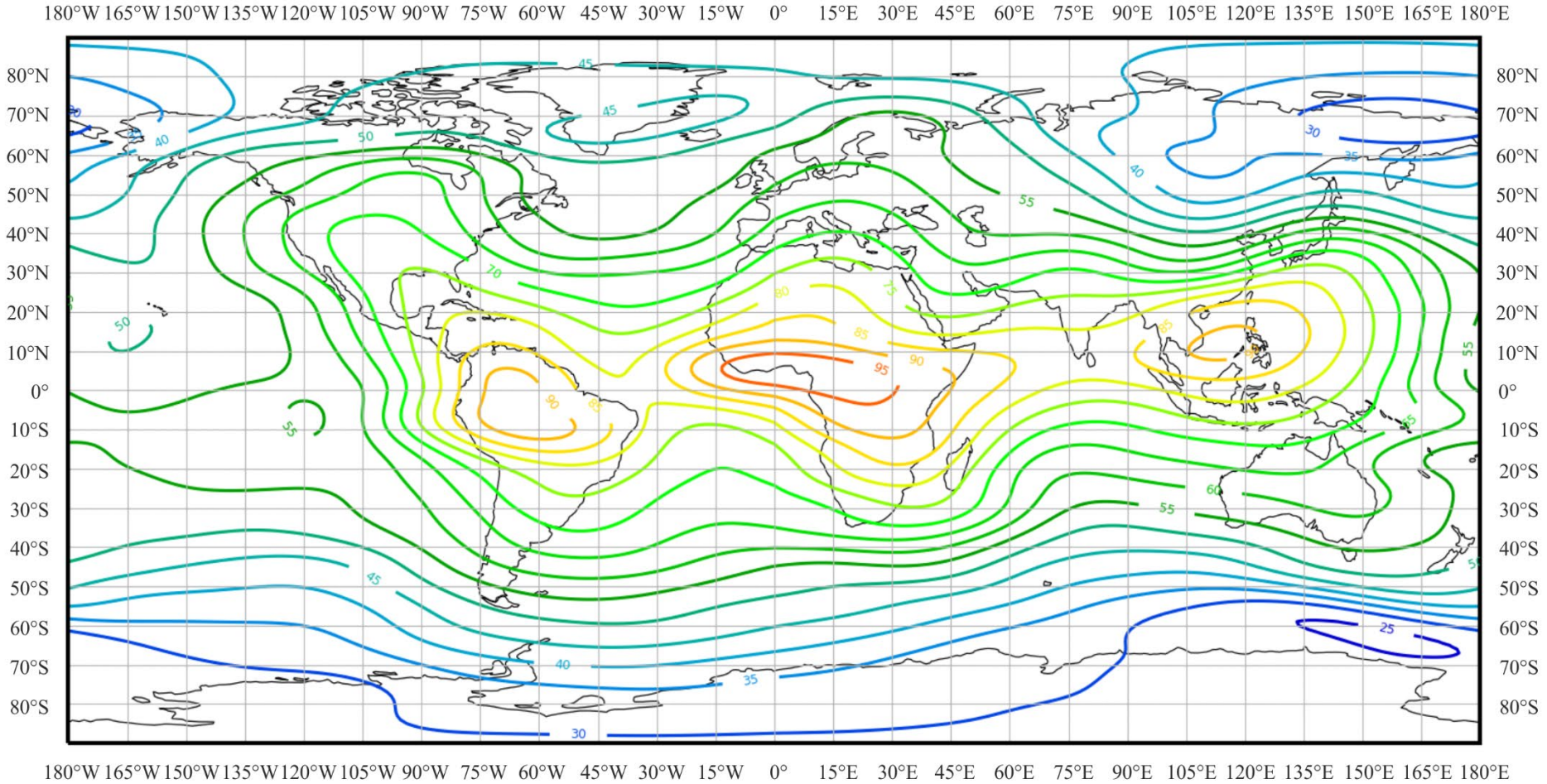


图35a

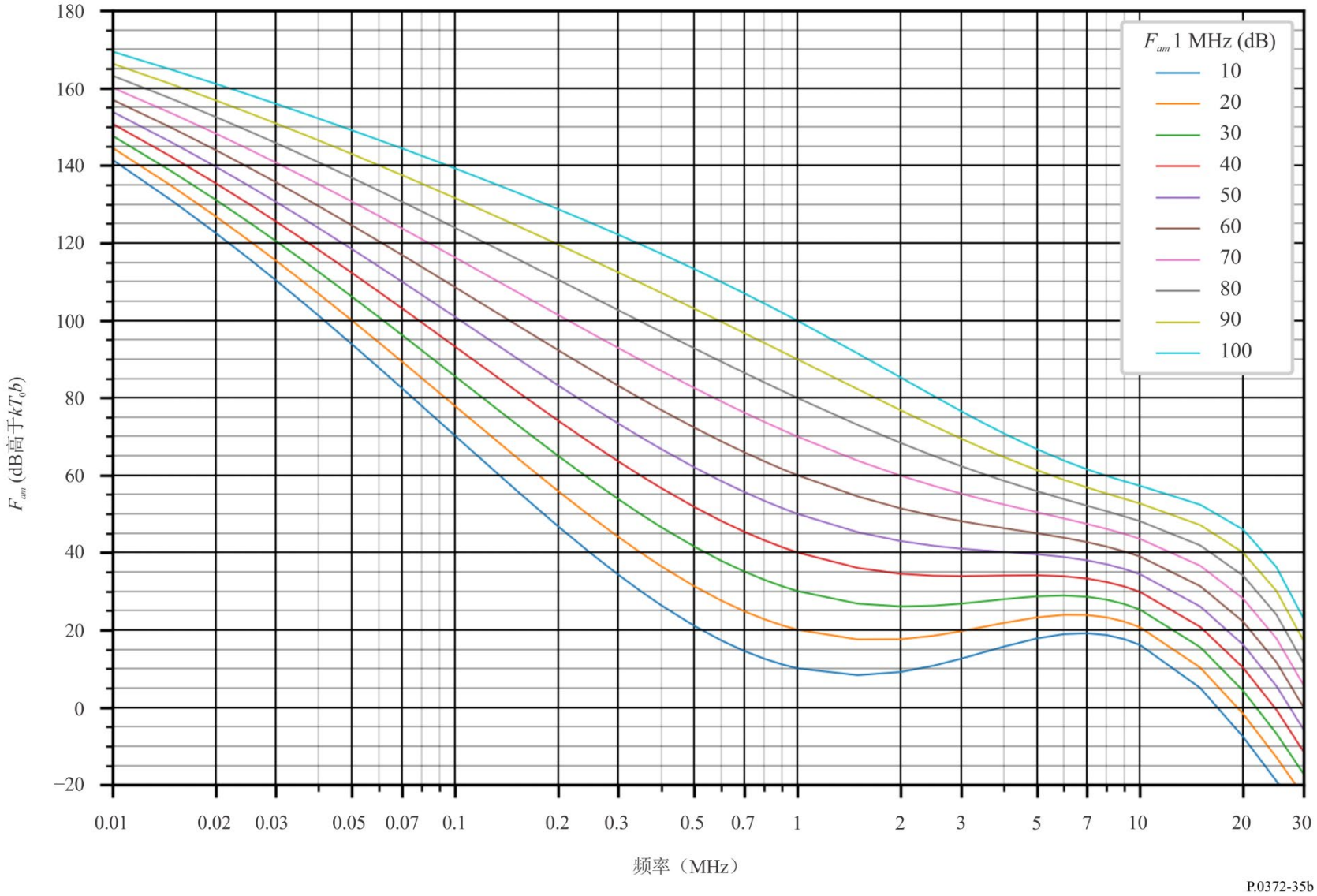
大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（9-10-11月；1600-2000 LT）



P.0372-35a

图35b

无线电噪声随频率的变化（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；1600-2000 LT）



P.0372-35b

图35c

噪声可变性和特性数据（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；1600-2000 LT）

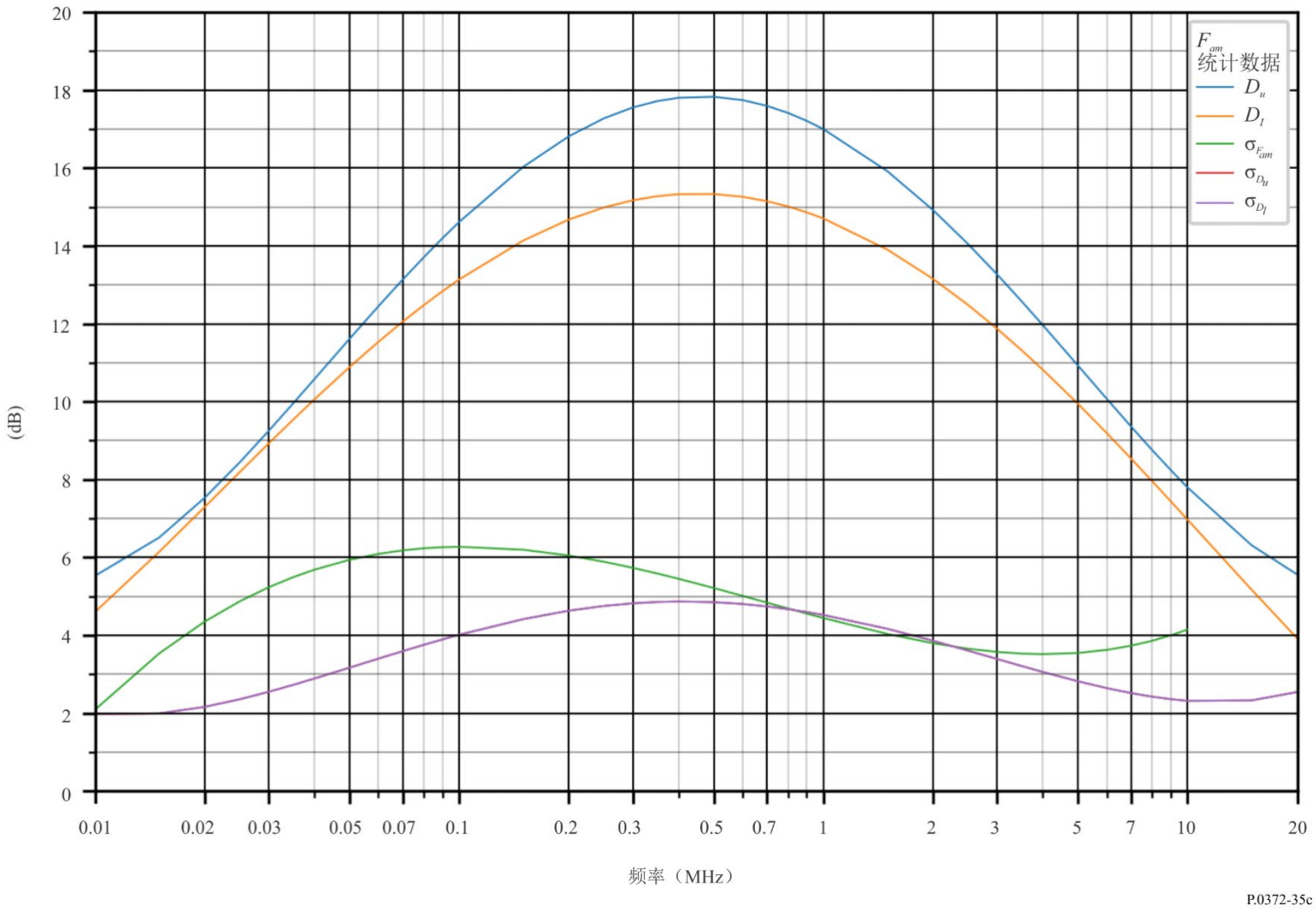
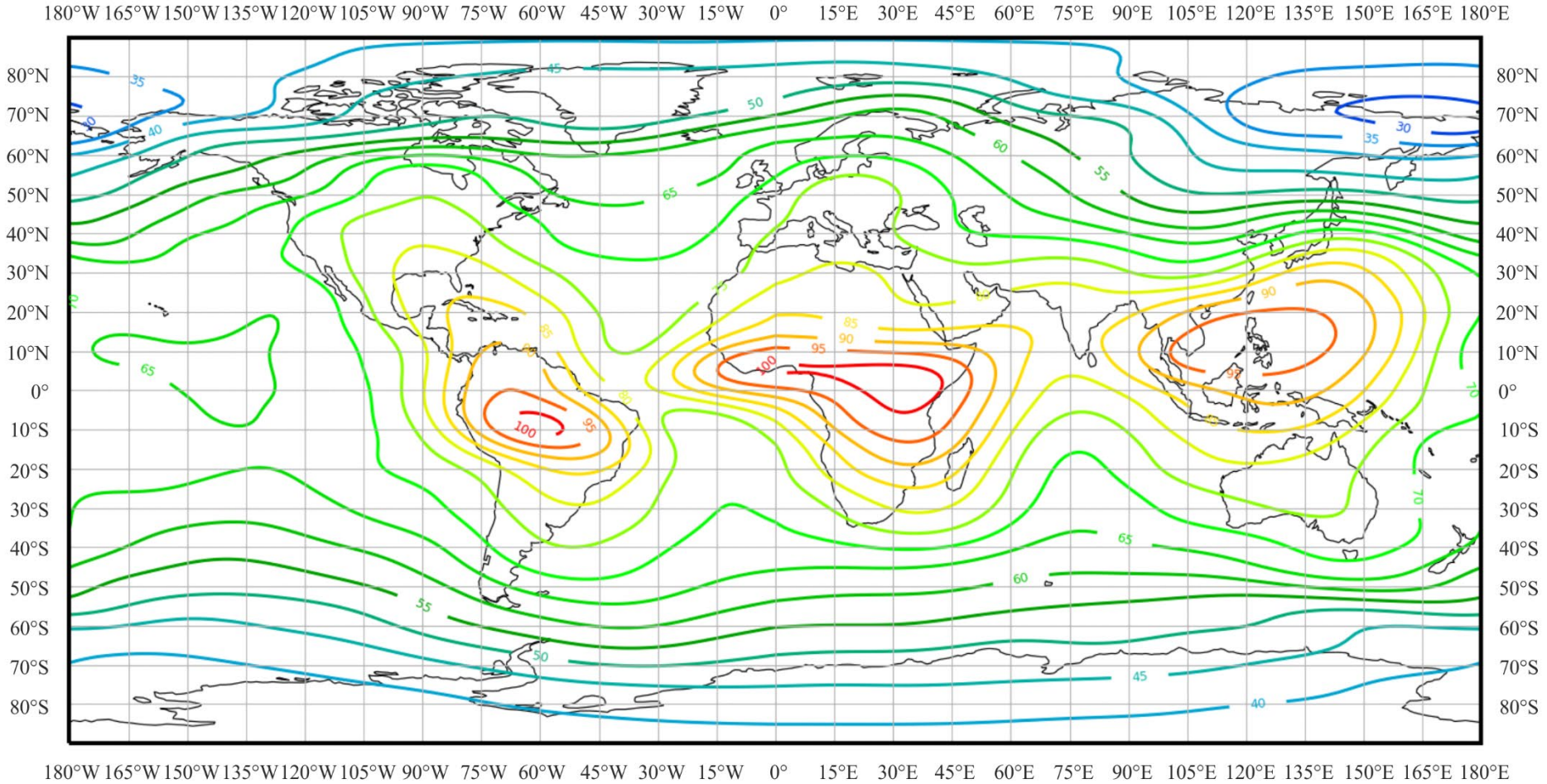


图36a

大气无线电噪声的预计值，F_{am}（1 MHz的dB高于kT_0b）（9-10-11月；2000-2400 LT）



P.0372-36a

图36b

无线电噪声随频率的变化（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；2000-2400 LT）

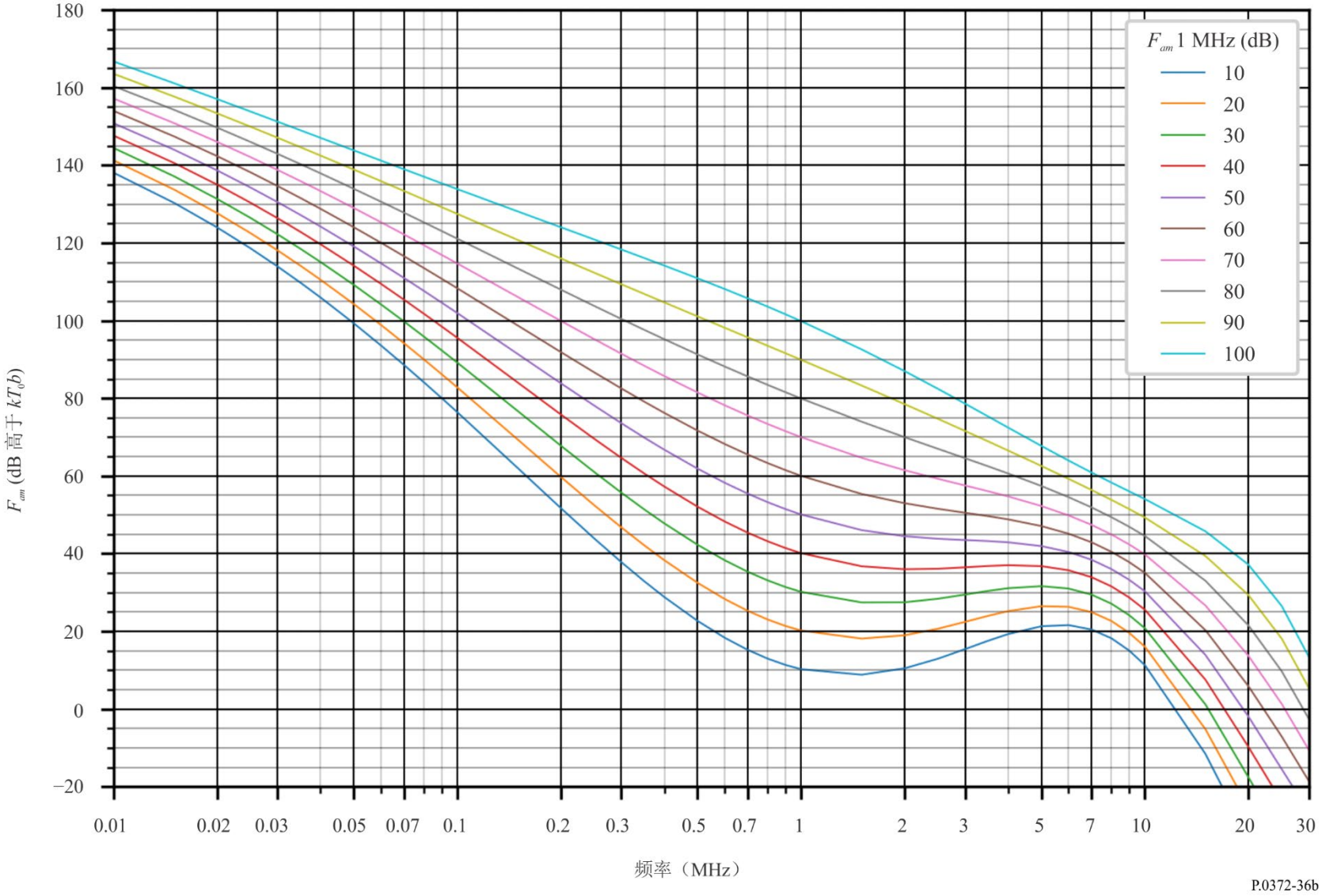


图36c

噪声可变性和特性数据（北半球：9-10-11月；南半球：3-4-5月；2000-2400 LT）

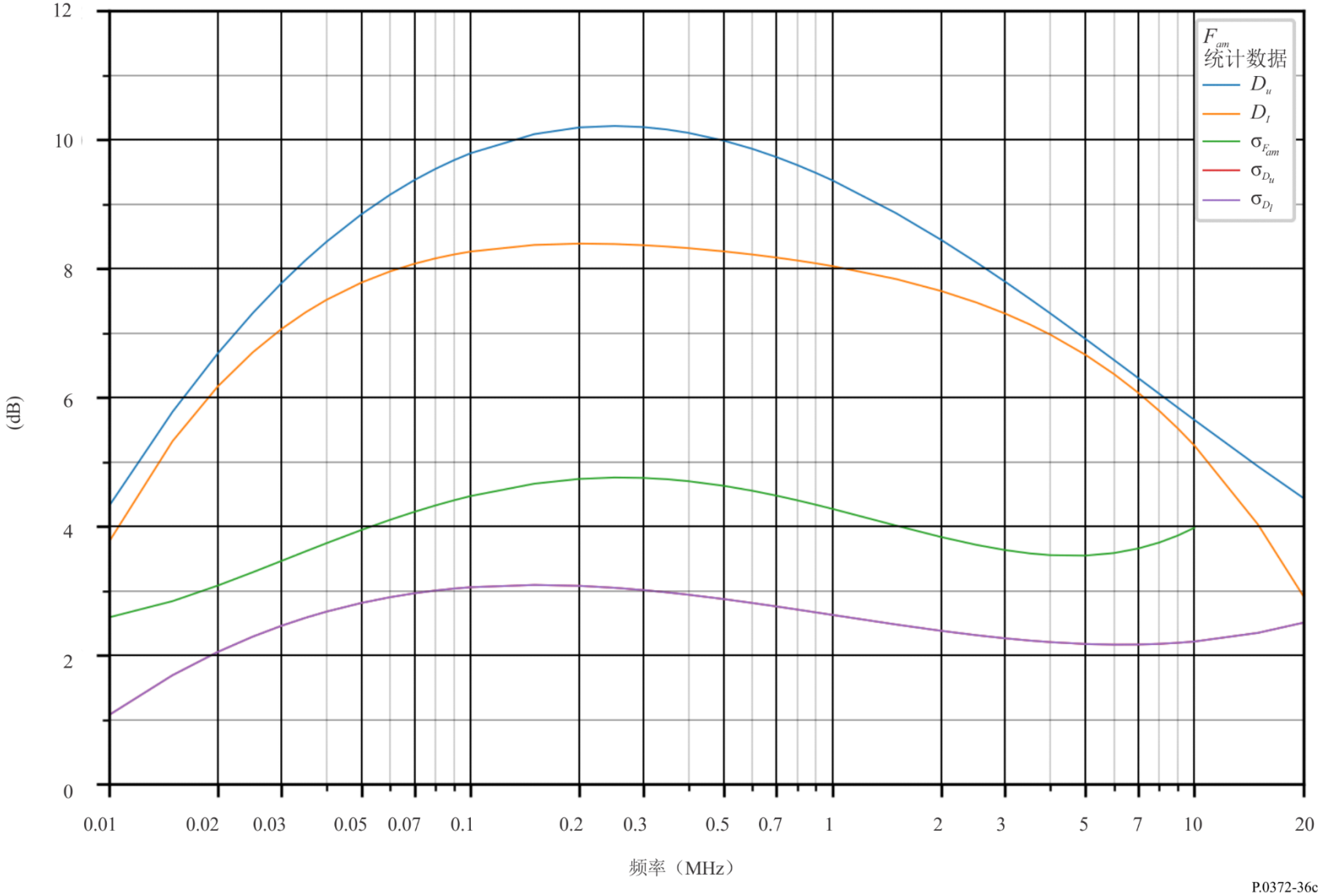


图37

各V_d值的大气无线电噪声的振幅概率分布

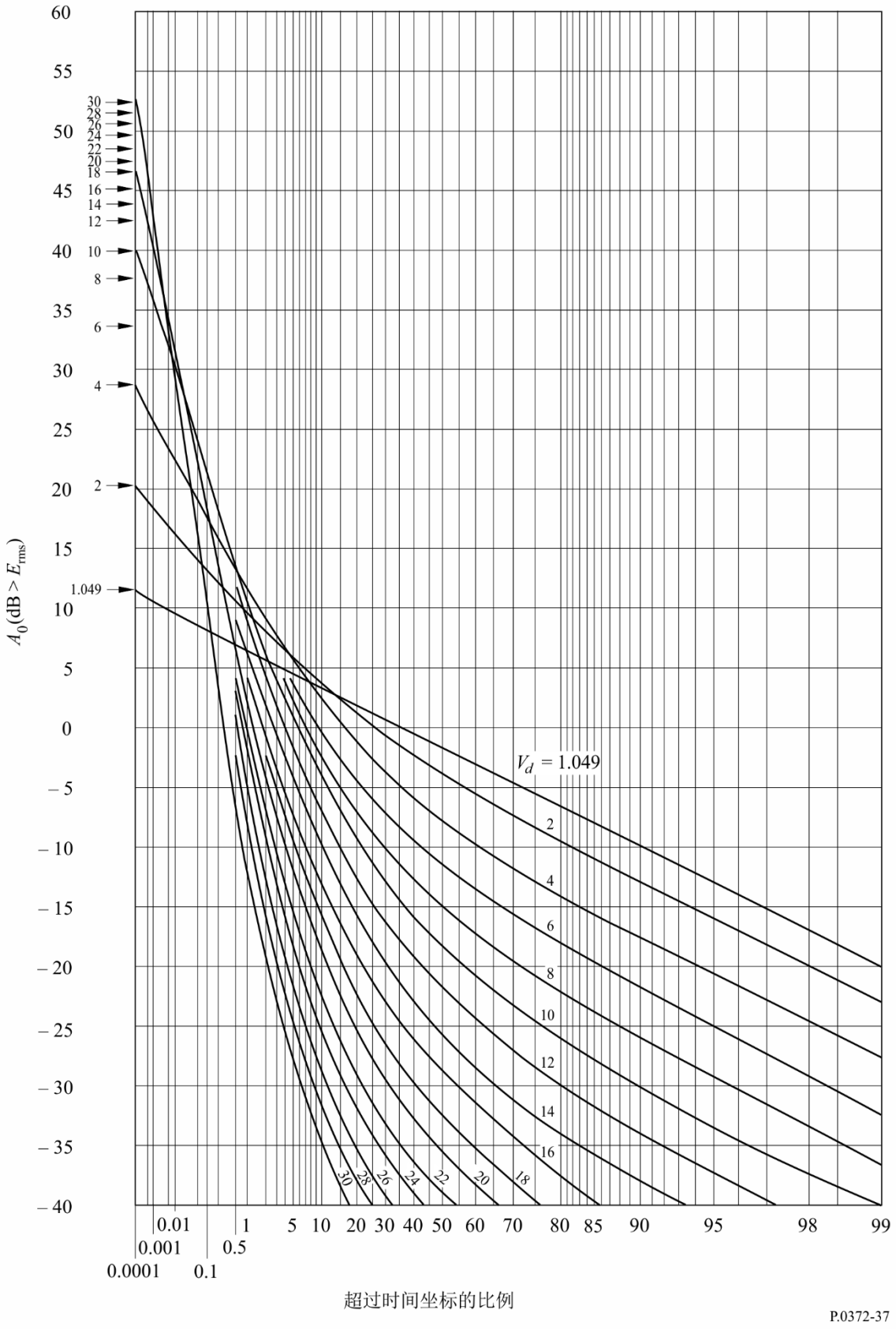
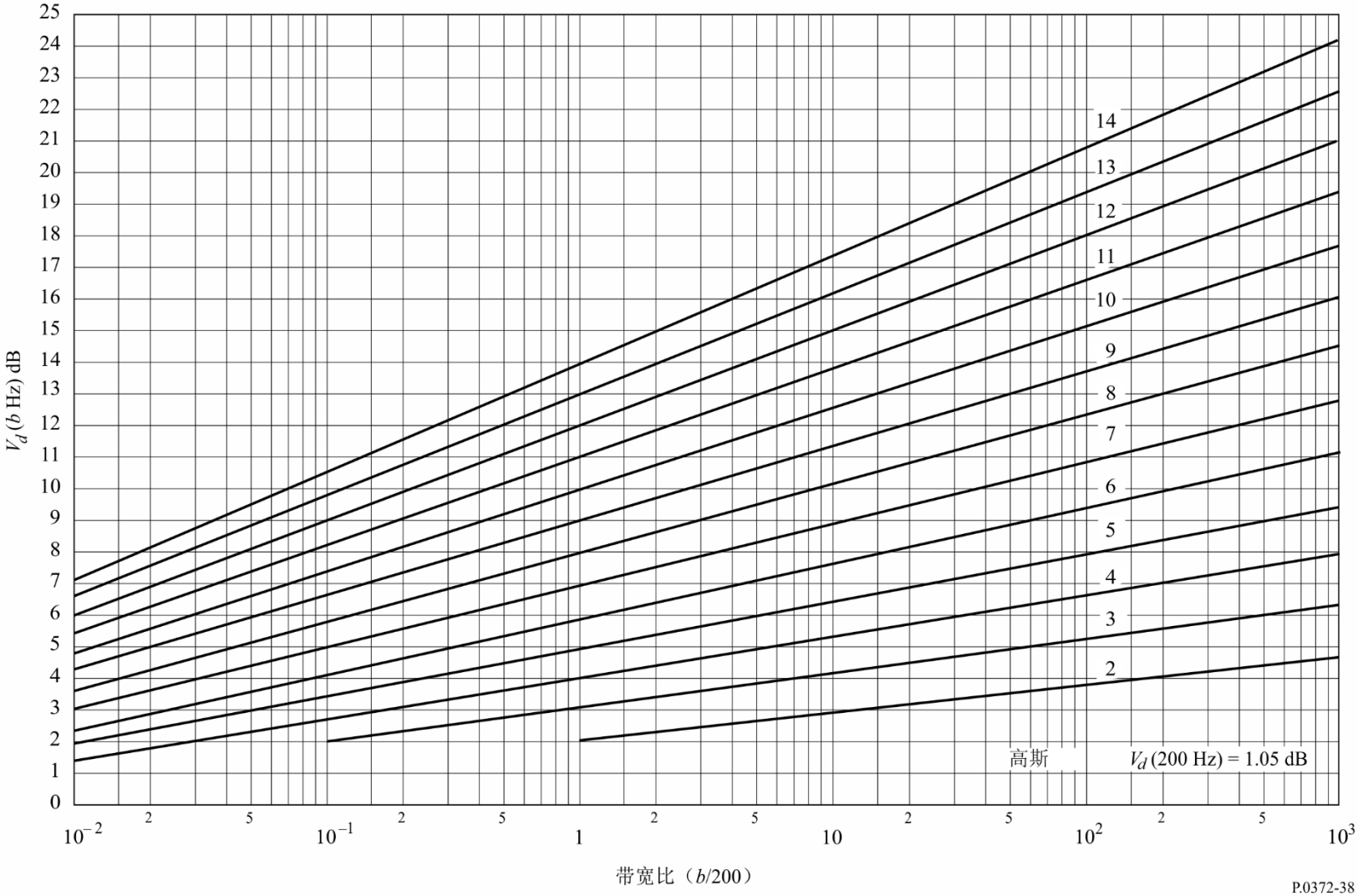


图38

200 Hz带宽 V_d, V_{dm}转换为其他带宽，*b*



第六部分

人为噪声

人为噪音可能包括以下类别之一：

– 宽带噪声，其功率谱密度在很大的频率范围内或多或少是平坦的，其特性接近加性高斯白噪声（AWGN）；

– 脉冲噪声（IN）；

– 具有频率相关特性的噪声，由单载波、频谱中的嘈杂“驼峰”或多个载波和/或驼峰的组合组成。由于缺乏更好的名称，这种类型的噪声传统上被称为“单载波噪声”（SCN）。

观察到的人为噪声也可能包括所有三个类别的组合。一类的优势取决于噪声源的强度及其与观察者的距离。

大量强度相当且距离接收机足够远的单个源相加时，可能会观察到AWGN人为噪声。SCN人为噪声表示附近存在单个源或数量有限的源。前者更可能出现在室外场景中，而后者则是典型的室内噪声环境。

ITU-R SM.1753建议书（室外）和ITU-R SM.2093（室内）建议书给出了测量和表示人为噪声的方法。

6.1 室外人为噪声

6.1.1 加性白高斯噪声

图39展示了典型户外环境中的AWGN人为噪声因子中间值。图中还包括一条银河噪声曲线（见第四部分）。

在任何情况下，结果都与中间值F_{am}（单位为dB）的线性差异相一致，频率f的形式为：

$$F_{am} = c - d \log f \tag{17}$$

当f以MHz表示时，c和d取表1给出的值。请注意，公式(17)在除曲线D和E所示的所有环境类别外的所有环境类别的0.3至250 MHz范围内有效。电离层反射的人为噪声（曲线D）在电离层的异常波临界频率(fxF2)以下观察到，这取决于一天中的时间、季节和太阳黑子周期。在fxF2以上，电离层逐渐变得透明，银河噪声成为主导（曲线E）。尽管电离探空仪不记录fxF2，但稳定电离层条件下fxF2的一个代表是扩展F指数fxI，它是电离探空仪在测量期间记录的最大F区域反射。

表2为商业、住宅和农村类型提供了在D_u和D_l时间段和上述频率范围的十分位差噪声功率平均值。该表还提供了随位置变化的差异值。可以假设，这些差异互不相关，而且中间值每一侧的对数正态半分布都是对称的。

表1

常数*c*和*d*的数值

环境类型	*c*	*d*
城市（曲线A）	76.8	27.7
住宅（曲线B）	72.5	27.7
农村（曲线C）	67.2	27.7
宁静乡村（曲线D）	53.6	28.6
银河噪声（曲线E）	52.0	23.0

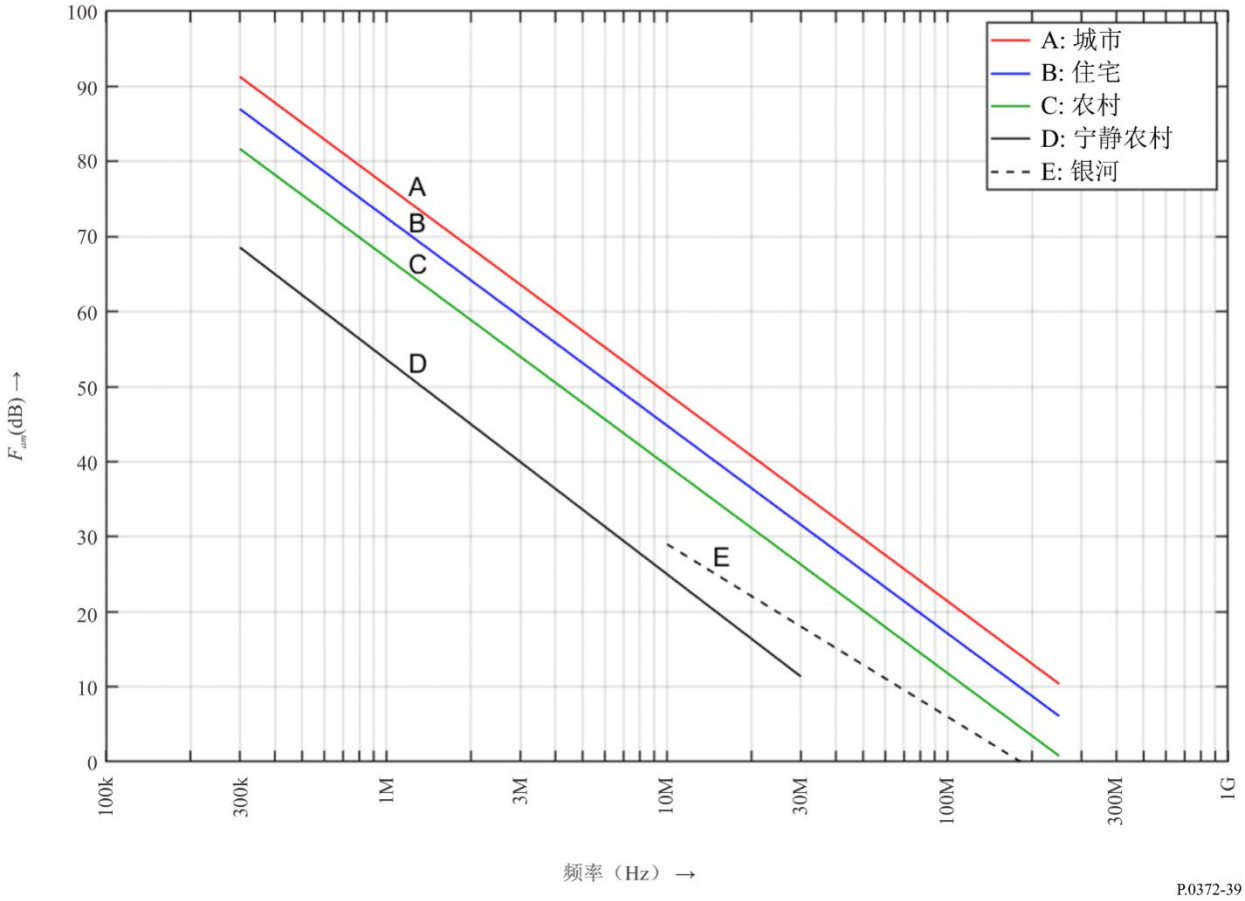
表2

人为噪声的十分位差值

类型	十分位	随时间的变化 （dB）	随位置的变化 （dB）
城市	较高 较低	11.0 6.7	8.4 8.4
住宅	较高 较低	10.6 5.3	5.8 5.8
农村	较高 较低	9.2 4.6	6.8 6.8

图39

短垂直无损接地单极天线的人为噪声功率的中间值



6.2 室内人为噪声

6.2.1 加性白高斯噪声

目前，没有足够的测量数据来描述室内AWGN人为噪声的预期水平。当此类数据可用时，将更新此部分。表3包含2005-2007年欧洲的测量数据。

表3

欧洲室内人为噪声测量

频率（MHz）	噪声中间值 F_a (dB rel kT_0b)		较高十分位差		较低十分位差	
	城市	住宅	城市	住宅	城市	住宅
210	14	5	3	3	2	1
425	16	**3**	4	1	1	1

第七部分

来自多个来源的噪声的组合

7.1 多来源的组合噪声

在某些情况下，需要考虑多种类型的噪声，因为两种或多种类型的噪声幅度相似。总之，在任何频率都可能出现这种情况，但在高频最为常见，因为那里的大气、人为和银河噪声程度相仿（图2中的10 MHz便是一个例证）。

假设以上确定的每个噪声源的噪声数值F_a (dB)分布，都可用中间值F_{am}每一侧的两个半正态分布表示。较低的半正态分布具有低于中间值的标准偏差$\sigma_l = D_l/1.282$，而较高的半正态分布具有高于中间值的标准偏差$\sigma_u = D_u/1.282$。相应的噪声系数f_a (W)在中间值的每一侧都呈对数正态分布。

用于求两个或多个噪声过程之合的噪声数值的中间值F_{amT}和标准偏差σ_T，见：

$$F_{amT} = c\left[\ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2}\right] \qquad \text{dB} \tag{18}$$

$$\sigma_T = c\sqrt{\ln\left(1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2}\right)} \qquad \text{dB} \tag{19}$$

其中：

$$c = 10/\ln(10) = 4.343 \tag{20}$$

$$\alpha_T = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i = \sum_{i=1}^{n} \exp\left[\frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2}\right] \qquad \text{W} \tag{21}$$

$$\beta_T = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i^2 \left[\exp\left(\frac{\sigma_i^2}{c^2}\right) - 1\right] \qquad \text{W}^2 \tag{22}$$

F_{ami}和σ_i是分量噪声源的噪声系数的中值和标准偏差。对于大气噪声，它们是从图13至36中提取的。人为噪声也可从图10和表2中提取。对于银河噪声，F_{am}由等式(15)给出，并且σ_i设置为1.56 dB (= 2/1.282)。

用于求两个或多个噪声过程之合的噪声数值的较高十分位偏差D_{uT}，见：

$$D_{uT} = 1.282\,\sigma_T \qquad \text{dB} \tag{23}$$

其中的σ_T是利用噪声分量中较高十分位偏差计算的，以算出公式(21)和(22)的σ_i (= D_u/1.282)。

用于求两个或多个噪声过程之合的噪声数值的较低十分位偏差D_{lT}，见：

$$D_{lT} = 1.282\,\sigma_T \qquad \text{dB} \tag{24}$$

其中的σ_T是利用噪声分量中较低十分位偏差计算的，以算出公式(21)和(22)的σ_i (= D_l/1.282)。

当至少一个噪声分量的噪声值的较高十分位偏差超过12 dB时，对于公式(19)至(22)，利用噪声分量中较高十分位偏差算出的σ_T，其最高值应限定为：

$$\sigma_T = c\sqrt{2\ln\left(\frac{\alpha_T}{\gamma_T}\right)} \qquad \text{dB} \tag{25}$$

其中，γ_T是独立中值噪声系数简单幂和的噪声系数：

$$\gamma_T = \sum_{i=1}^{n} \exp\left(\frac{F_{ami}}{c}\right) \qquad \text{W} \tag{26}$$

同样，当至少一个噪声分量的噪声值的较低十分位偏差超过12 dB时，公式(19)至(22)利用噪声分量中较低十分位偏差算出的σ_T，应限制在公式(25)给出的最高值。